

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MĚŘIČ ELEKTRICKÉ ENERGIE S PODPOROU AUTOMATICKÉHO
DÁLKOVÉHO SBĚRU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MILAN SKALA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MĚŘIČ ELEKTRICKÉ ENERGIE S PODPOROU AUTOMATICKÉHO DÁLKOVÉHO SBĚRU

ELECTRIC ENERGY METER WITH SUPPORT OF AUTOMATIC REMOTE ACQUISITION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MILAN SKALA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN KOUTNÝ, Ph.D.

BRNO 2013



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Milan Skala

ID: 119604

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Měřič elektrické energie s podporou automatického dálkového sběru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Předmětem práce bude realizace wattmetru se sériovým komunikačním rozhraním a realizace komunikační jednotky. Komunikační jednotka bude postavena na úzkopásmové technologii PLC. Tato data budou směrována do sběrného počítače s možností jejich reprezentace na Internetu. Předpokládá se návrh, realizace a finální odzkoušení sběrného systému s minimálním počtem 3 kusů jednotek (jedna sběrná + dva měřiče), obslužným SW a webovým rozhraním.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] CARCELLE, Xavier . Power Line Communications in Practice. : Artech House, 2009. 370 s. ISBN 978-1596933354.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 29.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Martin Koutný, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací měřiče elektrické energie s podporou automatického dálkového sběru dat. Pro sběr naměřených dat je použita úzkopásmová technologie PLC. V teoretické části jsou popsány základní vlastnosti technologie a standardy PLC jako jsou problémy rušení, typy vazebních obvodů, používané modulace, rozdělení šířky pásma, atd. V praktické části je výběr řídicích obvodů měřiče elektrické energie, modemu, mikrokontroléru a převodníku UART-USB. Dále jsou zde popsány základní vlastnosti úzkopásmového PLC modemu ST7570. Kapitola realizace zařízení se zabývá návrhem obvodů PLC modemu, wattmetru a převodníku z USB na UART.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měřič elektrické energie, Power Line Communication, Power Line Carrier, úzkopásmový modem PLC, sběr dat, ST7570, ADE7753, CP2102

ABSTRACT

This master's thesis deals with design and implementation of electric energy meter with support of automatic remote data collection. For the collecting of measured data is used narrowband PLC technology. The theoretical part describes the basic properties and standards of narrowband PLC technology, such as types of coupling circuits, modulations, frequency bands and interference problems. In the practical part, there is description of selected parts, such as control circuit power meter, modem, microcontroller and UART to USB converter. There are further described basic properties of narrowband PLC modem ST7570 by STMicroelectronics. The final chapter, implementation of the device, deals with designs of circuit PLC modem ST7570, power meter ADE7753 and converter USB to UART CP2102.

KEYWORDS

Electric energy meter, Power Line Communication, Power Line Carrier, narrowband PLC modem, data collect, ST7570, ADE7753, CP2102

SKALA, Milan *Měřič elektrické energie s podporou automatického dálkového sběru*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2013. 73 s. Vedoucí práce byl Ing. Martin Koutný, PhD.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Měřič elektrické energie s podporou automatického dálkového sběru“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Martinu Koutnému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Také bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	11
1 Komunikace po vedení	12
1.1 Historie	12
1.2 Rozdělení energetické sítě	12
1.3 Režim komunikace	13
1.4 Rušení v PLC	13
1.5 Impedance vedení	15
1.6 Modulace používané v úzkopásmových přenosech	15
1.7 Vazební obvody	18
1.8 Rozdělení šířky pásma PLC	20
2 Výběr řídicích obvodů navrhovaného zařízení	21
2.1 Výběr řídicího obvodu PLC modemu	22
2.2 Výběr řídicího obvodu pro měření elektrické energie	31
2.3 Výběr mikrokontroléru	33
3 Návrh a realizace zařízení	36
3.1 Návrh PLC modemu	36
3.1.1 Základní vlastnosti modemu ST7570	36
3.1.2 Vazební obvod a přijímací filtr	39
3.1.3 Přenosový filtr	41
3.1.4 Ochrana proti přepětí	43
3.2 Návrh wattmetru	45
3.2.1 Základní vlastnosti wattmetru ADE7753	45
3.2.2 Proudový senzor	46
3.2.3 Napěťový senzor	48
3.2.4 Převodník napěťových úrovní	50
3.3 Návrh zařízení pro komunikaci	51
3.3.1 Základní vlastnosti STM32VLDISCOVERY	51
3.3.2 Návrh převodníku UART – USB	52
4 Závěr	54
Literatura	55
Seznam symbolů, veličin a zkratk	58

Seznam příloh	60
A PLC Modem ST7570	61
A.1 Seznam součástek	61
A.2 Schéma zapojení	63
A.3 Schéma zapojení	64
A.4 Předloha plošného spoje a osazovací plán	65
B Wattmetr ADE7753	67
B.1 Seznam součástek	67
B.2 Schéma zapojení	68
B.3 Předloha plošného spoje a osazovací plán	69
C Převodník UART – USB	70
C.1 Seznam součástek	70
C.2 Schéma zapojení	71
C.3 Předloha plošného spoje a osazovací plán	72
D Obsah CD	73

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Model komunikace po vedení.	13
1.2	Obecné schéma přenosové cesty a možných zdrojů rušení.	14
1.3	Příklad impedance vedení.	15
1.4	Modulace FSK.	16
1.5	Konstelační diagram QPSK.	17
1.6	Modulace DBPSK.	17
1.7	Kapacitní vazba.	18
1.8	Induktivní vazba.	19
2.1	Blokové schéma zamýšlené sítě.	21
3.1	ST7570 – vnitřní zapojení[11].	36
3.2	Blokové schéma vysílacího obvodu[11].	37
3.3	Blokové schéma přijímacího obvodu[11].	37
3.4	Časování bitů[11].	38
3.5	Struktura rámce na fyzické vrstvě[11].	39
3.6	Navrhnutý vazební obvod a přijímací filtr.[15].	39
3.7	Frekvenční charakteristika navrženého přijímacího filtru.[15].	40
3.8	Schéma zapojení navrženého přenosového filtru.[15].	42
3.9	Frekvenční charakteristika navrženého přenosového filtru.[15].	43
3.10	Ochrana proti přepětí.[15].	44
3.11	Foto hotového modemu.	44
3.12	Vnitřní zapojení ADE7753[25].	46
3.13	Schéma zapojení proudového senzoru.	47
3.14	Schéma zapojení napěťového senzoru.	48
3.15	Schéma zapojení napěťového senzoru.	49
3.16	Převod napěťových úrovní.	50
3.17	Foto hotového wattmetru.	50
3.18	Vnitřní zapojení STM32F100RB.[3.18].	51
3.19	STM32VLDISCOVERY.[3.18].	52
3.20	Vnitřní zapojení CP2102[24].[3.20].	53
3.21	Obrázky hotového převodníku.	53
A.1	Schéma zapojení PLC modemu ST7570 1.část.	63
A.2	Schéma zapojení PLC modemu ST7570 2.část.	64
A.3	Předloha pro výrobu plošného spoje. Vlevo vrchní strana a vpravo spodní strana.	65
A.4	Osazovací plán.	66
B.1	Schéma zapojení.	68

B.2	Předloha pro výrobu plošného spoje. Vlevo vrchní strana a vpravo spodní strana.	69
B.3	Osazovací plán.	69
C.1	Schéma zapojení převodníku UART – USB	71
C.2	Předloha pro výrobu plošného spoje. Jednostranné PCB.	72
C.3	Osazovací plán.	72

SEZNAM TABULEK

2.1	Souhrn parametrů řídicích obvodů	30
2.2	Přehled obvodů pro měření elektrické energie od ANALOG DEVICES	32
A.1	Tabulka použitých součástek.	61
B.1	Tabulka použitých součástek.	67
C.1	Tabulka použitých součástek.	70

ÚVOD

V dnešní době je velice důležité snižovat energetické nároky spotřebičů jak z hlediska zvyšující se ceny energií, tak z hlediska čerpání zásob neobnovitelných zdrojů. Proto se setkáváme čím dál častěji se zařízeními pro měření spotřeby elektrické energie. Moderní měřicí zařízení mají dálkový sběr dat, díky kterému lze na jednom místě vyhodnocovat aktuální spotřebu měřených elektrických zařízení a z dlouhodobého hlediska vytvářet statistiky spotřeby elektrické energie.

Tato práce se věnuje návrhu měřiče elektrické energie, který pro posílání dat používá úzkopásmovou technologii PLC. PLC je zkratka z anglického Power Line Communication, nebo také Power Line Carrier a můžeme ji přeložit jako komunikaci po elektrickém vedení s napětím 230 V a frekvencí 50 Hz. Úzkopásmový modem se používá například k přenosu dat z různých měřících čidel a jeho rychlost je v řádech stovek kbit/s.

Teoretická část této práce se věnuje představení PLC technologie, zejména úzkopásmové verze a jsou zde popsány základní požadavky, problematika rušení, problematika útlumu, základní používané modulace, atd.

V kapitole návrhu zařízení se tato práce věnuje nejprve popisu řídicích obvodů pro PLC technologii, následně popisu obvodů pro wattmetr a jako poslední část je popis několika mikrokontrolerů. U těchto obvodů se upřednostňovaly parametry, velikost jednotlivých součástí zařízení, dostupnost a samozřejmě cena.

Kapitola návrh a realizace zařízení se věnuje návrhu PLC modemu ST7570 a jeho částí (vazební člen, přijímací filtr, vysílací filtr, atd.), wattmetru ADE7753 a převodníku z USB na UART CP2102.

1 KOMUNIKACE PO VEDENÍ

1.1 Historie

Myšlenka použití nejrozšířenějšího rozvodu k přenosu dat je starší, než si my sami myslíme. První vznik této technologie se datuje k počátku 20. století, kdy se v Evropě začaly používat systémy sloužící jako hromadné dálkové ovládání. Ve 30. a 40. letech byla v USA nasazena tato technologie pro přenos telefonního signálu. V dalších letech se zejména soustředilo na automatické distribuované řízení. Na konci 80. let se začaly vyvíjet technologie, které měly poskytnout širokopásmový datový přenos po energetickém vedení.

Tato technologie, pro přenos po energetické síti, používá zkratku PLC z anglického Power Line Communication nebo také Power Line Carrier, což můžeme přeložit jako komunikaci po elektrickém vedení. V roce 1997 byly provedeny první testy PLC technologie ve Velké Británii. Tuto technologii můžeme rozdělit na dvě skupiny podle použití. První skupinou jsou širokopásmové PLC modemy, které se používají například k rozvodu počítačové sítě v domácnosti a druhou skupinou jsou úzkopásmové PLC modemy, které se používají zejména ke sběru dat z různých senzorů. Tyto skupiny se odlišují přenosovou rychlostí a jiným frekvenčním pásmem. Například první širokopásmové systémy nabízely přenosové rychlosti v řádu jednotek Mbit/s. Vývoj jde rychle dopředu, a proto se v dnešní době dosahuje u širokopásmových PLC modemů rychlostí až 200 Mbit/s v případě standardu HomePlug AV.

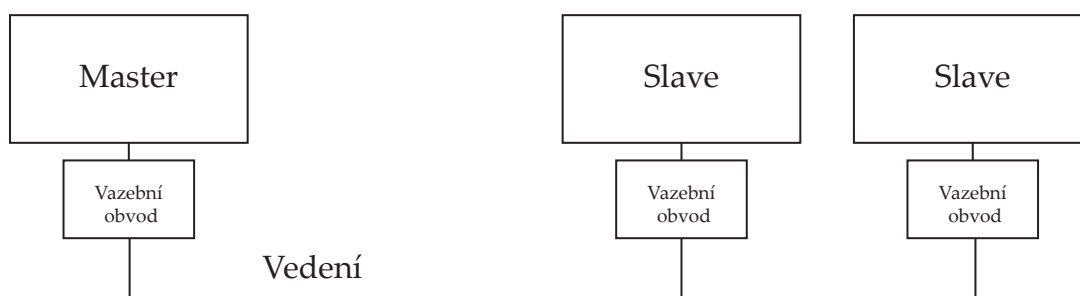
1.2 Rozdělení energetické sítě

Energetickou distribuční síť lze rozdělit podle napětové úrovně. V České republice máme tři základní trojfázové přenosové soustavy. 1

- VVN (Velmi vysoké napětí) 400 kV, 220 kV, 110 kV – Tato distribuční síť se používá k přepravě energie na velké vzdálenosti k propojení velkých oblastí a velkých odběratelů. Tato síť je realizována zejména nadzemním vedením.
- VN (Vysoké napětí) 35 kV, 22 kV, 10 kV, 6 kV – Používá se pro přenos na menší vzdálenosti než VVN. Jako příklad lze uvést zásobování měst a průmyslových podniků. Je realizována podzemními a nadzemními kabely.
- NN (Nízké napětí) 500 V, 400 V, 230 V – Tato síť má délku obvykle několik stovek metrů. Používá se pro připojení koncových uživatelů. Je realizována podzemními a nadzemními kabely. Pro komunikaci po sítích tohoto napětí je určen navrhovaný modem.

1.3 Režim komunikace

PLC modemy spolu komunikují v poloduplexním režimu, což znamená, že v určitý čas posílá data po jedné společné lince pouze jeden modem. V úzkopásmové síti je komunikace taková, že se nachází jeden modem v režimu master, se kterým komunikují ostatní modemy v režimu slave. Jedná se o sběrnicovou topologii a příklad můžeme vidět na obrázku (1.1). [11]



Obr. 1.1: Model komunikace po vedení.

1.4 Rušení v PLC

Hlavní zdroj rušení je sekundární vinutí distribučního transformátoru. Další rušící elementy jsou motory (například vysavače, klimatizace, fény) a triaky (například stmívače osvětlení). Tyto rušení jsou silná, protože nejsou synchronní s 50 Hz. S tímto rušením se musí počítat, a proto se používá vhodná detekce a korekce chyb. Dalším důležitým faktorem k potlačení rušení je vhodná volba pracovní frekvence. [2]

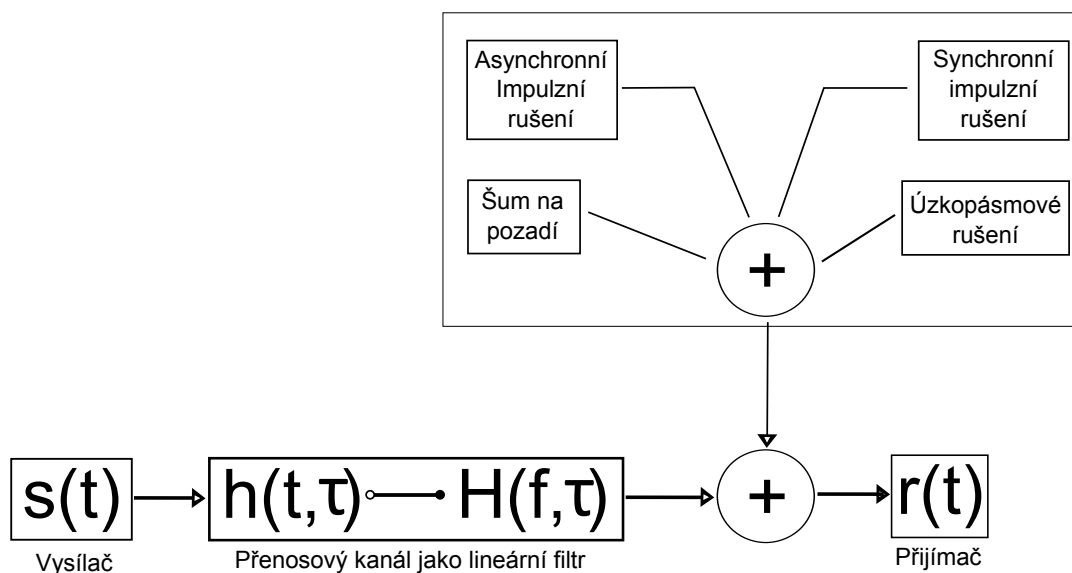
Základní typy rušení v PLC:

Šum na pozadí je v síti vždy přítomen a vzniká skládáním více zdrojů rušení s nízkou intenzitou. Parametry tohoto rušení jsou proměnné v čase a popisuje se spektrální výkonovou hustotou, která klesá s rostoucím kmitočtem. Hodnoty spektrálního výkonu jsou v rozsahu desítek Hz do 20 kHz. Na vyšších kmitočtech je spektrální výkonová hustota řádově tisíckrát nižší.[3]

Úzkopásmové rušení má tvar úzkých špiček s vysokou spektrální výkonovou hustotou. Způsobují ji především měniče frekvence, televize, spínané procesy a další zařízení v energetické rozvodné síti. Na vyšších frekvencích může toto rušení pocházet od rozhlasových stanic vysílající na krátkých a středních vlnách.[3]

Impulzní rušení způsobují především spínané zdroje, tyristorové regulátory a elektromotory. Toto rušení se vyskytuje nejčastěji. Je charakteristické krátkými napěťovými špičkami o krátké délce trvání (v řádech jednotek, či stovek μs), které běžně dosahují výkonové spektrální hustoty o 10 dB a mohou dosáhnout až o 50 dB více, než je šum na pozadí. Toto rušení lze rozdělit na:

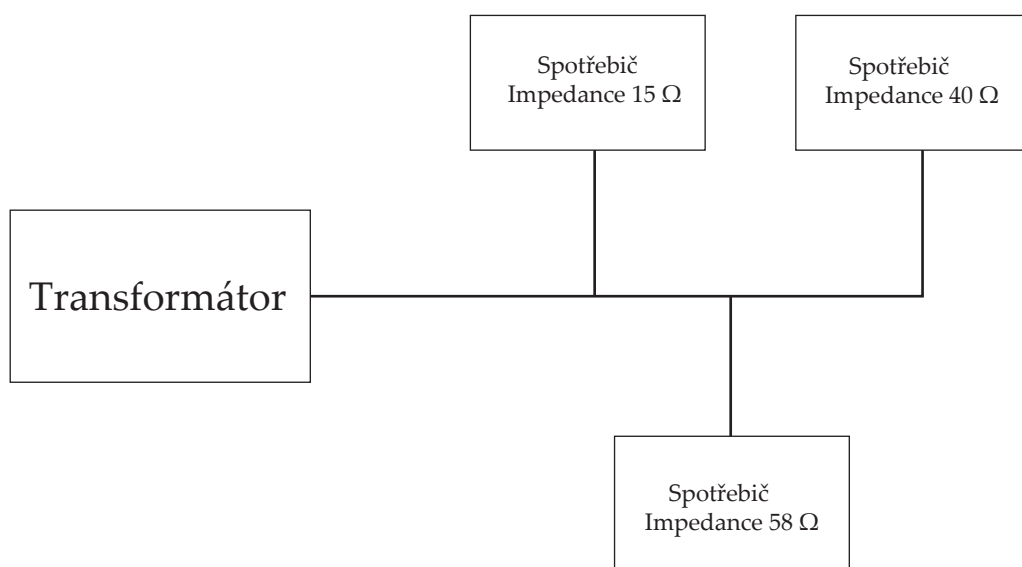
- **Asynchronní rušení**, které jsou spínací prvky v distribuční síti.
- **Synchronní rušení**, které je nejčastěji způsobeno stmívači, napěťovými konvertory, atd. Shluky rušivých špiček mají opakující se periodu.[3]



Obr. 1.2: Obecné schéma přenosové cesty a možných zdrojů rušení.

1.5 Impedance vedení

Elektrické vedení není určeno primárně k přenosu signálů na vyšších frekvencích než je 50 Hz. Z tohoto důvodu nastává několik problémů. Jeden z těchto problémů je různá impedance sítě v závislosti na připojené zátěži v síti a distribuční transformátor. Vodiče mají na tuto problematiku zanedbatelný vliv. Impedance je většinou induktivního charakteru. Vědci z IBM ve svých laboratořích pro elektromagnetickou kompatibilitu naměřili, že impedance při frekvenci 100 kHz, se pohybuje od 1,5 do 80 ohmů. Při těchto zátěžích se pohybuje útlum v rozmezí od 2 do 40 dB. [2]



Obr. 1.3: Příklad impedance vedení.

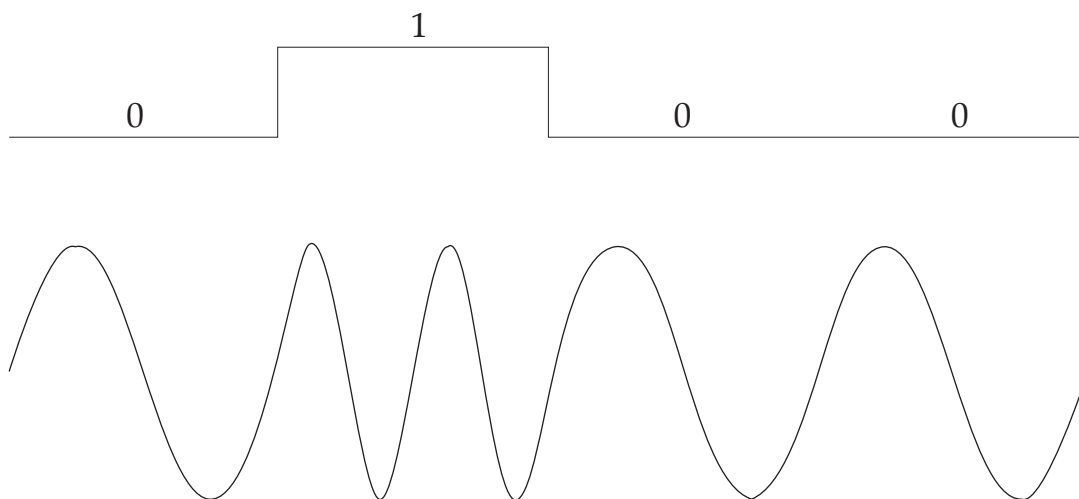
1.6 Modulace používané v úzkopásmových přenosích

Modulace je nelineární proces, kterým se mění charakter vhodného nosného signálu pomocí signálu modulujícího. Výsledek je, že nosný signál nese v sobě data. Zařízení, které provádí modulaci signálu se nazývá modulátor. Modulátor vždy obsahuje nelineární prvek, bez kterého by nebylo možné signál modulovat. Na druhé straně je zařízení, které signál demoduluje tzv. demodulátor. V našem případě se jedná o oboustrannou komunikaci, tím pádem každé zařízení (modem) obsahuje oba tyto prvky (modulátor, demodulátor). Tyto modemy pak používáme k přenosu digitálních informací analogovou cestou.

Používané typy modulací:

1. FSK (Frequency Shift Keying) - frekvenční klíčování

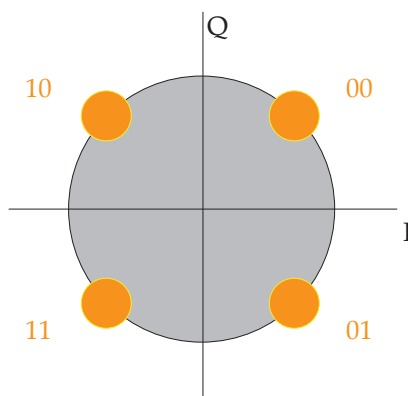
Je to obdoba analogové FM modulace. Rozdíl mezi nimi je v tom, že nosný signál s harmonickým průběhem u FSK moduluje digitální signál a u FM modulace ho moduluje signál analogový. Modulace spočívá v tom, že máme dvě frekvence f_0 a f_1 , každá reprezentuje jeden binární symbol 0, nebo 1. Při změně modulačního signálu se změní frekvence nosného signálu, což můžeme vidět na obrázku(1.4). Z toho vyplývá, že u této modulace je amplituda konstantní a mění se jen úhlová frekvence nosného signálu v závislosti na modulačním signálu.



Obr. 1.4: Modulace FSK.

2. QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) - kvadraturní fázové klíčování

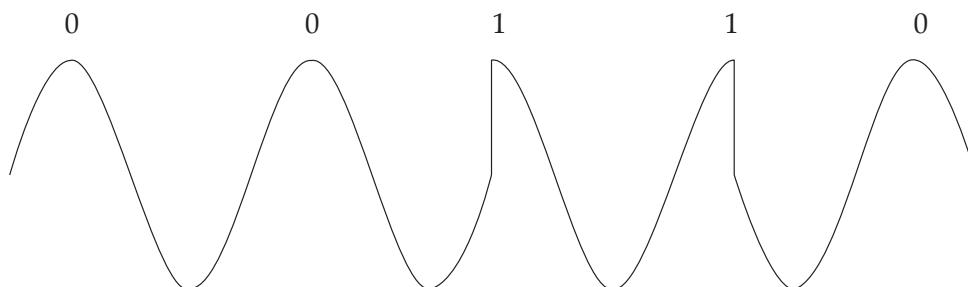
Tato modulace se vytváří z dvoustavového fázového klíčování BPSK dvou nosných vln, které mají stejný kmitočet, ale jsou posunuty o 90° . Jedna ze čtyř možných kombinací dvou bitů (00,01,10,11) jsou přiřazeny ke čtyřem stavům nosné, které jsou posunuty od sebe o $\pi/2$ rad. Dvojici bitů nazýváme dibit.



Obr. 1.5: Konstelační diagram QPSK.

3. DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) - dvoustavové fázové klíčování

Je podobná modulaci QPSK, avšak využívá pouze dvou stavů, kdy pro binární 0 použijeme nezměněnou fázi tj. 0° a pro binární 1 použijeme změnu fáze o 180° . Navíc je zde zavedeno tzv. vztažné klíčování, kdy ke změně fáze dochází vždy i při přenosu dvou stejných symbolů za sebou, což můžeme vidět například na obrázku (1.6). Výhoda této techniky je ta, že pokud dojde k nežádoucí změně fáze, nedojde k otočení celého dalšího úseku, ale pouze k jedné chybě.



Obr. 1.6: Modulace DBPSK.

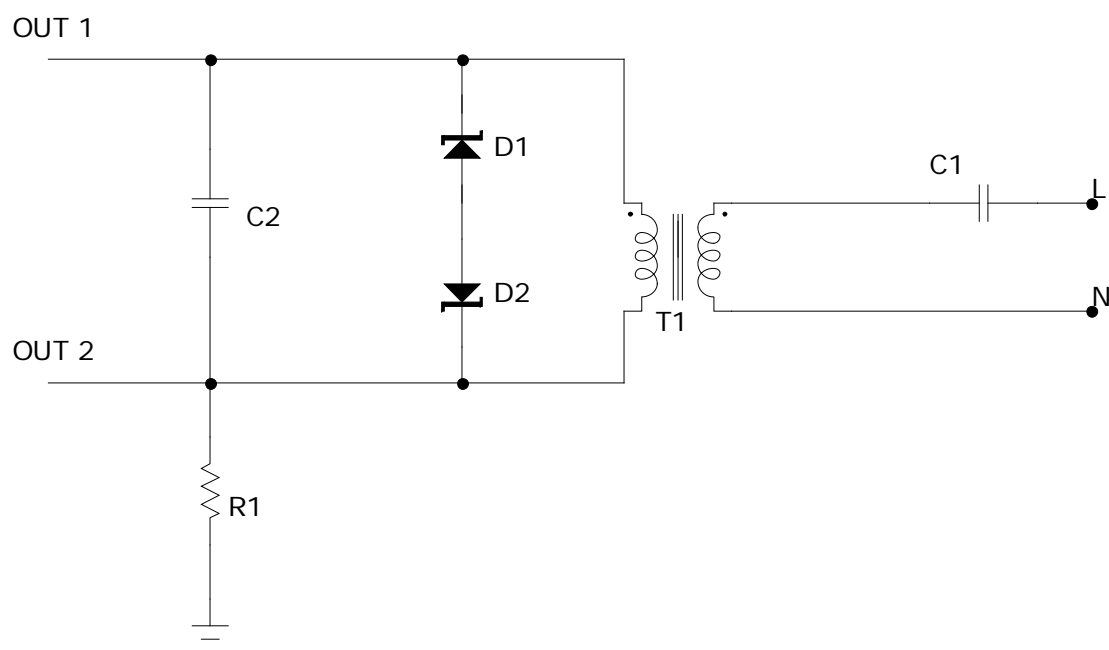
1.7 Vazební obvody

U vazebních obvodů požadujeme ochranu zařízení a uživatele, dále nízkou úroveň vyzařování a velkou efektivitu vazby.

Existují dva typy:

1. Kapacitní (přímá) vazba

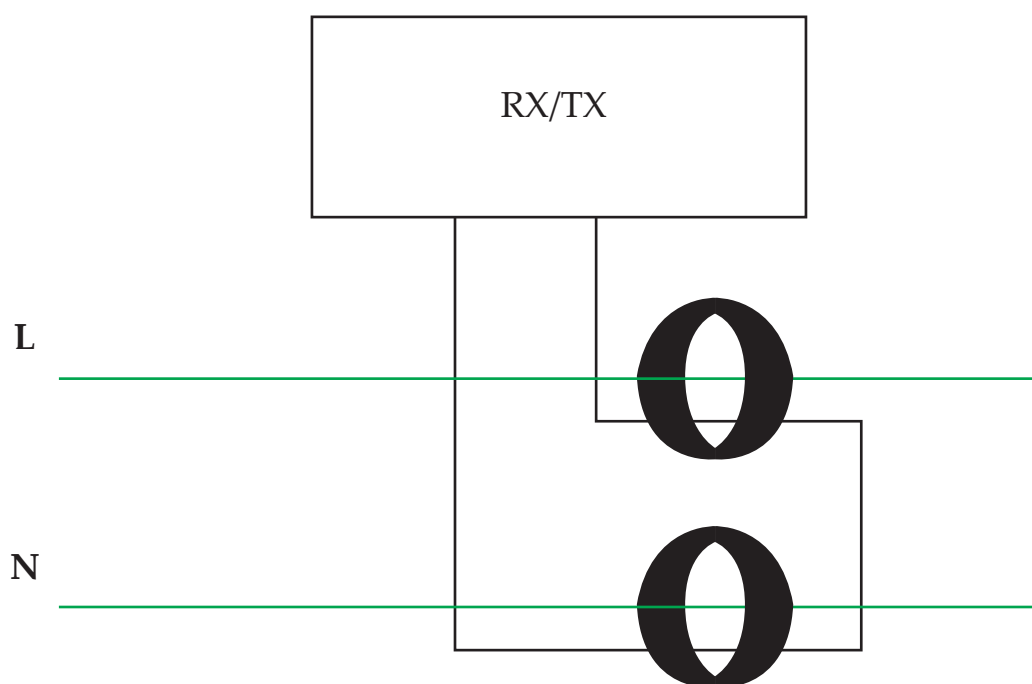
Kapacitní vazba je tvořena malým vysokonapěťovým a vysokokapacitním kondenzátorem, většinou fóliovým. Dále je použit oddělovací transformátor a diody, případně transily, které chrání modem před přepětím. [4]



Obr. 1.7: Kapacitní vazba.

2. Induktivní vazba

Používá se u vysokonapěťových systémů, ale i u nízkonapěťových systémů pro hlavní stanici. Nejvíce efektivní je u rozvodů s nízkou impedancí, například v rozvaděčích. Její výhodou je, že je jednodušší na implementaci. Induktivní vazba je tvořena především děleným feromagnetickým a nebo rozpojeným železitým kroužkem, který slouží jako vysokofrekvenční transformátor. Tento případ indukovaní elektrického signálu se nazývá injektování. Cívky injektují na vodič, v našem případě fázi, datový signál. Signál se může indukovat na další fázi, pokud jsou vodiče u sebe po určitou délku [4].



Obr. 1.8: Induktivní vazba.

1.8 Rozdělení šířky pásma PLC

Přenosový kanál lze použít pouze v rozmezí určitých frekvencí. Platí, že čím větší šířka pásma, tím větší přenosová rychlost. Energetické vedení lze rozdělit na dvě různá pásma a to širokopásmové vedení a úzkopásmové vedení. Šířka pásma pro širokopásmový přenos je od 1 MHz do 30 MHz a můžeme v něm dosáhnout rychlost přenosu dat až 200 Mbit/s v případě standardu HomePlug AV. U úzkopásmových přenosů je šířka pásma od 3 kHz do 148,5 kHz a dosahují se zde rychlosti v řádu stovek kbit/s. Toto pásmo se dále dělí na další kategorie A, B, C, D. Předmětem normy je omezit interferenci mezi zařízeními pro přenos signálu v energetických rozvodech [5].

Využití pásem pro úzkopásmový přenos [5]:

- A 9 – 95 kHz: pro účely dodavatele elektrické energie a jejich souhlasu i pro odběratele,
- B 95 – 125 kHz: jen pro odběratele a nevyžaduje protokol přístupu k dohodě normy,
- C 125 – 140 kHz: pro privátní účely odběratelů a vyžaduje protokol o přistoupení k dohodě,
- D 140 – 148,5 kHz: pro privátní účely odběratelů a nevyžaduje protokol přistoupení k dohodě.

Tyto normy tvoří Evropský výbor pro standardizaci v elektrotechnice CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique). V České republice toto rozdělení spadá do normy s názvem: „Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3 kHz až 148,5 kHz“. Jedná se o normu ČSN EN 50065-2-3.

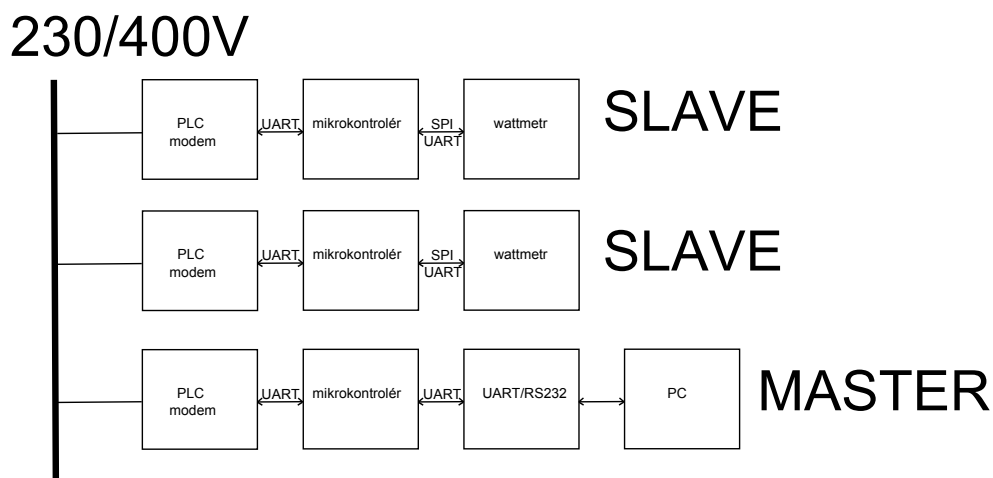
Protokol dohody musí splňovat tyto podmínky:

- všechny systémy vysílají upozornění, že vysílání pokračuje na 132,5 kHz,
- vysílač nesmí vysílat spojitě déle než 1 s a nesmí vysílat znovu po dobu alespoň 125 ms,
- vysílač může vysílat, je-li pásmo nevyužito po dobu náhodně zvolenou mezi 85 ms a 115 ms s alespoň sedmi hodnotami v tomto pásmu,
- vysílač musí být vybaven signálním detektorem, který detekuje kdy se pásmo používá,
- k umožnění detekce použitého pásma přístroj vysílá svůj signál se spektrálním rozložením v souladu s B přílohou této normy.

2 VÝBĚR ŘÍDÍCÍCH OBVODŮ NAVRHOVANÉHO ZAŘÍZENÍ

Navrhované zařízení má za úkol sběr dat. V tomto případě sběr dat z měřiče elektrické energie. Pro přenos naměřených dat bude použita technologie PLC. PLC modemy mají hierarchickou strukturu, kde je jeden PLC modem v režimu master a ostatní modemy v režimu slave. Modemy v režimu slave posílají data modemu master. Tyto modemy komunikují přes síť nízkého napětí (NN), v našem případě konkrétně 230/400 V.

Přenos dat bude probíhat od wattmetru, který je napojen přes SPI/UART do mikrokontroleru, který je dále napojen přes UART do PLC modemu. Modem tyto data pošle hlavnímu modemu (v režimu master), kde modem přepošle data do mikrokontroleru přes UART. Z mikrokontroleru jsou data odeslána přes UART do převodníku UART/RS232 a dále do počítače, kde se budou ukládat do databáze. Načtená data z databáze se budou zobrazovat v PHP, kde se bude jednat zejména o grafy. Zapojení zamýšlené sítě můžete vidět na obrázku (2.1).



Obr. 2.1: Blokové schéma zamýšlené sítě.

2.1 Výběr řídicího obvodu PLC modemu

PLC technologie se vyvíjí již několik let, proto je na trhu mnoho řídicích obvodů, ze kterých lze vybírat. Na základě prostudování dokumentace k řídicím obvodům bylo stanoveno několik podmínek:

- řídicí obvod pro úzkopásmový přenos,
- cena,
- co nejmenší rozměr celkového obvodu,
- dobrá technická dokumentace,
- dobrá podpora od výrobce,
- spolehlivost,
- bezpečnost,
- dostupnost na trhu (možnost nakoupit i v malém množství).

Yitran IT700

IT700 je plně integrovaný PLC modem a aplikace řešené na jednom čipu. IT700 obsahuje extrémně spolehlivou PHY (fyzickou) vrstvu, linkovou vrstvu, mikrokontroler 8051 s 256 kB flash pamětí pro implementaci protokolů a aplikací s 24-mi programovatelnými vstupy a výstupy. IT700 je ideální řešení pro různé úzkopásmové aplikace a nabízí řešení pro implementaci komunikačních protokolů a aplikací, jako je SE 1.0, SE 2.0, IPv4 a IPv6 [7].

Základní vlastnosti [7]:

- PLC optimalizovaná fyzická vrstva,
- DCSK (Differential Code Shift Keying), modulace patentovaná Yitranem, která poskytuje vysokou odolnost vůči rušení,
- vysoká odolnost proti slábnoucímu signálu, šumu, měnící se impedance a fázového, nebo frekvenčního zkreslení,
- obsahuje dopřednou softwarovou opravu chyb a CRC-16,
- splňuje normy FCC, ARIB, EN50065-1, CENELEC,
- umožňuje několik rychlostí přenosu v závislosti na odolnosti proti rušení:
 - maximální rychlosti při splnění norem FCC a ARIB:
 - * 7,5 kb/s Standard Mode (SM),
 - * 5,0 kb/s Robust Mode (RM),
 - * 1,25 kb/s (Extremely Robust Mode) ERM,
 - maximální rychlosti při splnění norem CENELEC:

- * 2,5 kb/s Robust Mode (RM),
- * 0,625 kb/s Extremely,
- PLC optimalizovaná vrstva DLL (Data Link Layer),
- podpora 1023 logických sítí a 2047 zařízení/síť,
- potvrzovaný a nepotvrzovaný přenos dat,
- Přístup k médiu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance),
- šifrování AES 128 s 32-bitovou autentifikací,
- podpora stromové topologie s 16 hopy.

Yamar SIG60

SIG60 je druhá generace modemu pro digitální komunikaci po elektrickém vedení. To umožňuje použít napájení jako vedení pro komunikaci, čímž eliminuje použití dalších vodičů pro přenos dat. SIG60 využívá unikátní digitální technologii siglalizace, který překonává rušení v elektrických sítích. Má malé rozměry a integruje většinu komponentů potřebných pro jeho provoz. Režim spánku umožňuje zařízení snížit spotřebu, ale je schopen dále detekovat data na sběrnici pro vzdálené probuzení [8].

Základní vlastnosti [8]:

- výstupní UART rozhraní,
- odolný proti rušení,
- bitová rychlost od 9.6 kb/s do 115.2 kb/s,
- dva operační módy – Master, Slave,
- více sítí může komunikovat po jednom vedení,
- modem je stavěný pro komunikaci ve stejnosměrných i střídavých sítích,
- pouzdro 28 pin QFN,
- režim spánku pro snížení spotřeby,
- jednoduché rozhraní pro komunikaci s mikrokontrolerem.

AMIS 30585

AMIS-30585 je poloduplexní FSK modem a je navržen pro přenos dat po nízkých napětích (50 – 1000 V). Modem nabízí kompletní zpracování protokolu od fyzické vrstvy až k MAC vrstvě. AMIS-30585 splňuje normy EN 50065 CELENEC, IEC 1334-4-32 a IEC 1334-5-1. Napájecí napětí je 3,3 V. Interní PLL je uzamčen

na frekvenci sítě 50 Hz nebo 60 Hz a používá se k synchronizaci přenosu dat při přenosové rychlosti 300, 600 a 1200 baudů pro frekvenci 50 Hz, což odpovídá 3,6 nebo 12 datových bitů na polovinu cyklu frekvence sítě 50 Hz nebo 60 Hz [9].

Základní vlastnosti [9]:

- splňuje normy IEC 1334-5-1 a IEC 1334-4-32,
- pro 50Hz, nebo 60 Hz sítě,
- kompletní řešení pro přenos dat,
- S-FSK modulace,
- programovatelná nosná frekvence od 9 kHz do 95 kHz,
- poloduplexní přenos, max 1440 b/s,
- supports chorus transmission,
- programovatelná konfigurace,
- obsahuje ARM procesor,
- SCI port,
- napájecí napětí 3 V,
- pouzdro PLCC 28 LEAD,
- dobrá dostupnost,
- dobrá podpora a dokumentace.

AMIS 49587

AMIS 49587 je IEC1334 kompatibilní PLC modem s modulací S-FSK pro robustní nízkorychlostní komunikaci po elektrickém vedení. AMIS-49587 je postaven na procesoru ARM 7TDMI a obsahuje vrstvu MAC. S touto robustní modulací se mohou signály na vedení posílat na dlouhé vzdálenosti. Poloduplexní provoz je automaticky synchronizován se sítí a maximální rychlost posílání dat je až 2400 b/s. Konfigurace se provádí přes sériové rozhraní. AMIS-49587 kombinuje analogové obvody a digitální funkce na stejném čipu [10].

Základní vlastnosti [10]:

- podporuje 50 Hz a 60 Hz sítě,
- plně podporuje normy IEC1334-5-1 IEC 1334-4-32 / EN50065,
- kompletní implementace vrstev od fyzické vrstvy až aplikační
- programovatelné nosné frekvence od 9 kHz do 95 kHz v 10 Hz krocích,
- poloduplexní přenos,
- modulační rychlosti: 300, 600, 1200 a 2400 baudů (50 Hz),

- synchronizace s frekvencí sítě,
- algoritmus zvyšující robustnost komunikace,
- SCI Port pro mikrokontroler,
- SCI rychlosti: 4,8, 9,6, 19,2 a 38,4 kb/s,
- napájení 3,3 V,
- pracovní teplota od -40 °C do +80 °C.

ST7570

ST7570 je výkonný PLC modem na jednom čipu. Kombinuje PHY procesor, protokoly, plně integrovaný AFE a linkový driver. Tyto funkce dělají z ST7570 cenově efektivní PLC řešení založené na IEC61334-5-1 s S-FSK modulací [11].

Základní vlastnosti [11]:

- plně integrovaný úzkopásmový PLC modem,
- vysoce výkonný procesor,
- modulace S-FSK,
- programovatelná přenosová rychlost do 2,4 kb/s (50 Hz),
- programovatelná nosná frekvence do 148,5 kHz s krokem 1 Hz,
- indikace síly signálu,
- splňuje normy IEC61334-5-1 u PHY a MAC vrstvy,
- UART rozhraní,
- plně integrované ADC a DAC převodníky,
- PGA s automatickou regulací zisku pro vysokou citlivost,
- modulovaný signál s vysokou linearity,
- plně integrovaný koncový zesilovač,
- až 1 A rms, 14 V p-p výstup,
- konfigurovatelné aktivní filtry,
- obsahuje teplotní čidlo,
- řízení výstupního proudu,
- 8 až 18 V zesilovač napětí,
- 3,3 V, nebo 5 V napájení,
- integrovaný 5 V a 1,8 V regulátor pro AFE a jádro procesoru,
- synchronizace průchodu nulou,
- určeno pro EN50065 a FCC aplikace,

- pouzdro VFQFPN48,
- pracovní teplota od -40 °C do +85 °C.

ST7590

ST7590 je první kompletní řešení úzkopásmového OFDM PLC modemu založeného na CMOS litografii. ST7590 je založen na dvoujádrové architektuře pro zajištění vynikajícího komunikačního výkonu s velmi vysokou úrovní flexibility a programovatelností pro plné přizpůsobení implementace [12].

Základní vlastnosti [12]:

- plně integrovaný úzkopásmový PLC modem,
- OFDM modulace,
- výběr z 96 nosných frekvencí v pásmu CENELEC A,
- programovatelné modulace BDPSK, QDPSK, 8DPSK,
- programovatelná bitová rychlost až 128 kb/s,
- konvoluční kódování a Viterbiho dekódování,
- odhad kvality kanálu,
- rozhraní UART, SPI, I2C,
- watchdog časovač,
- 128 bit AES HW šifrování,
- plně integrované AFE – ADC a DAC převodníky,
- vysoká citlivost přijímače,
- vysoká linearita vysílače s řízením zisku,
- integrovaný power line driver,
- až 1 A rms, 14 V p-p,
- konfigurovatelná topologie aktivního filtrování,
- ultra nízké zkreslení,
- teplotní čidlo,
- regulátor proudu,
- 3,3 V, nebo 5 V napájení,
- integrovaný 5 V a 1,8 V regulátor pro AFE a jádro procesoru,
- určeno pro EN50065 a FCC aplikace,
- pouzdra QFN48 7x7 (ST7590) a TQFP 100 14x14 (ST7590T).

MAX2990

MAX2990 PLC modem poskytuje nákladově efektivní, spolehlivý poloduplexní asynchronní datovou komunikaci po AC nebo DC elektrickém vedení při rychlostech do 100 kb/s. MAX2990 je integrovaný systém-on-chip (SoC), který kombinuje fyzické (PHY) rozhraní a Media Access Control (MAC) vrstvu pomocí Maxim 16-bit MAXQ mikrokontroleru. MAXQ je 16-bit RISC mikroprocesor s 32 kB Flash pamětí, 5,12 kB ROM a 8 kB SRAM. MAX2990 využívá modulaci OFDM, umožňující robustní datovou komunikaci po elektrické síti, která zároveň napájí všechna zařízení v síti [13]. MAX2990 má integrované rozhraní pro sériovou komunikaci (SPI, I2C, UART) a hodiny reálného času (RTC) pro časové razítkování [13].

MAX2990 je založen na Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) modulaci, která umožňuje robustní přenos dat po zarušených elektrických vedeních. OFDM s binárním klíčováním fázového posunu (BPSK) a dopředné opravy chyb (FEC) jsou použity pro odolnost vůči rušení signálu, robustní komunikaci, spoždění šíření, atd. MAX2990 má funkci, která odstraňuje neustálé sinusové rušivé signály v FCC a ARIB pásmech. Ochrana osobních údajů je zajištěna šifrováním DES. MAX2990 je k dispozici v 64-pinový LQFP pouzdře a provozní rozsah teplot je od -40 °C do +85 °C [13].

Základní vlastnosti [13]:

- kombinuje fyzickou vrstvu (PHY) a Media Access Controller (MAC),
- integrovaný mikrokontroler s 32 kB flash pamětí a 8 kB SRAM,
- maximální efektivní Data Rate v normálním režimu 32 kb/s od 10 kHz do 95 kHz a 100 kb/s od 10 kHz do 490 kHz,
- splňuje normy:
 - CENELEC A (10 kHz až 95 kHz),
 - CENELEC B (95 kHz až 120 kHz),
 - CENELEC C (120 kHz až 140 kHz),
 - FCC (10 kHz až 490 kHz),
 - ARIB (10 kHz až 450 kHz),
- zahrnuje Forward Error Correction (FEC) mechanismus a CRC16,
- DES pro šifrování / dešifrování koprocесorem a CRC32,
- uživatelsky konfigurovatelná šířka pásma,
- přístupová metoda Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA), Automatic Repeat Request (ARQ) pro zlepšení detekce chyb,
- SPI, I2C, a UART rozhraní.

MAX2992

MAX2992 je PLC modem poskytující poloduplexní asynchronní datovou komunikaci po elektrickém vedení při rychlostech až 300 kb/s. MAX2992 je system-on-chip (SoC), který kombinuje fyzické (PHY) rozhraní a Media Access Control (MAC) vrstvu pomocí Maxim 32-bit MAXQ30 mikrokontroleru. MAX2992 využívá OFDM modulace s DBPSK, DQPSK, D8PSK modulací a Forward Error Correction (FEC), které umožňuje robustní datovou komunikaci po elektrické síti. Design poskytuje vlastní přizpůsobivost frekvenčních kanálů, selektivní robustnosti v přítomnosti skupinového prodlení a odolnost vůči impulsnímu šumu. Chcete-li umožnit dodržování právních předpisů, MAX2992 obsahuje programovatelný tónový mechanismus, který umožňuje dělení určitých kmitočtových pásmech v přenosovém spektru modemu. Tato funkce také poskytuje alternativní metodu řešení soužití s jinými úzkopásmovými vysílači, jako jsou starší systémy s FSK modulací na bázi PLC [14].

MAC obsahuje 6LoWPAN adaptační vrstvu na podporu IPv6. Posílený CSMA/CA a ARQ, spolu s mesh směrovacím protokolem podporuje všechny běžné MAC vrstvy služeb pro různé síťové topologie. Inteligentní komunikační mechanismy přizpůsobí a zvýší výkon systému v rozsahu zvukového kanálu. Tyto mechanismy zahrnují odhad kanálu, adaptivní tónové mapování, a směrovací protokoly. CCM koprocessor slouží k AES-128 šifrování / dešifrování a zajišťuje bezpečnost a autentizaci. [14]

Základní vlastnosti [14]:

- předběžná norma shody: IEEE P1901.2, ITU G.hnem G.9955, IEC / CENELEC,
- frekvenční pásmo vyhovuje CENELEC, FCC, a ARIB,
- provozní frekvence od 10 kHz do 490 kHz,
- integrace Physical Layer (PHY) a Media Access Controller (MAC),
- dvě UART a dvě SPI rozhraní,
- podporuje IPV6,
- dynamic Routing Mechanismus podporuje mesh sítě,
- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access s Collision Avoidance/Channel Access),
- datová rychlost až 300 kb/s,
- dvě vrstvy Forward Error Correction (FEC) a cyklická redundantní kontrola (CRC16),
- rozšířený FEC s Reed-Solomon opravou chyb a Viterbiho algoritmem,
- CCM Authentication koprocessor pro AES-128 šifrování/dešifrování,

- automatic Repeat Request (ARQ) zlepšuje detekci chyb a spolehlivost údajů,
- dynamické přizpůsobení linky vybere optimální datový tok na základě podmínek v přenosovém kanálu.

Shrnutí parametrů

Tab. 2.1: Souhrn parametrů řídicích obvodů

Výrobce/typ	Modulace	Přenosová rychlost	Frekvence nosné	Komunikační rozhraní	Napájecí napětí	Pouzdro	Cena
Yitran IT700	DCSK	7,5 – 0,625 Kbit/s	9 – 400 kHz	UART, I2C, SPI	3 V	QFN56	30 €
Yamar SIG60	–	9,6 – 115,2 Kbit/s	1,75 – 13 MHz	UART	3 – 3,6 V	QFN28	7 €
AMIS 30585	S-FSK	až 1440 b/s	9 – 95 kHz	UART	3 V	PLCC 28	–
AMIS 49587	S-FSK	až 1440 b/s	9 – 95 kHz	UART	3 V	PLCC 28	4 \$
ST7570	S-FSK	až 2,4 kb/s	až 148,5 kHz	UART	3,3 – 5 V	VFQFPN-48	4,5 \$
ST7590	OFDM	až 128 kb/s	96 subkanálů CELENEC A	UART, SPI, I2C	3,3 – 5 V	QFN48	6,3 \$
MAX2990	OFDM	až 100 kb/s	10 – 490 kHz	UART, I2C, SPI	3 – 3,6 V	LQFP/64	10 \$
MAX2992	OFDM	200 kb/s	10 – 490 kHz	UART, SPI	3 – 3,6 V	LQFP/64	–

2.2 Výběr řídicího ovbodu pro měření elektrické energie

Součástí navrhovaného zařízení je zařízení na měření elektrické energie. Toto zařízení bude posílat data přes komunikační rozhraní (UART, SPI, I2C, atd.) do mikrokontroleru. Jako nejvhodnější a nejdostupnější se jeví řešení od společnosti Analog Devices. Seznam dostupných čipů a jejich základní parametry můžeme vidět v tabulce (2.2).

Pro měření proudu bude použit bočník, což je v našem případě rezistor s velmi nízkým odporem a malou tolerancí z důvodu co nejmenší měřicí chyby. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu úspory místa, jednoduchosti a především ceně. Měřicí transformátory jsou pro navrhované zařízení příliš velké, protože zařízení se má vejít do krabičky o určitých rozměrech a nemělo by být nic vyvedeno ven.

Pro měření napětí použijeme napěťový dělič, který bude vypočten podle maximálního vstupního napětí na pin čipu, což je v řádu jednotek milivoltů.

Tab. 2.2: Přehled obvodů pro měření elektrické energie od ANALOG DEVICES

Typ obvodu	Měřené veličiny	Proudový senzor	Komunikační rozhraní	Pouzdro
ADE7953	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Rogowského cívka	I2C, Pulsy, SPI, UART	28-Lead LFCSP
ADE5569	Irms, VA, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Rogowského cívka, Bočník	I2C, Pulsy, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7518	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Bočník	I2C, Pulsy, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE5169	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Rogowského cívka, Bočník	I2C, Pulsy, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7116	Irms, VA, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Bočník	I2C, Pulsy, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7156	Irms, VA, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Bočník	I2C, Pulsy, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7166	Irms, VA, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Bočník	I2C, Pulsy, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7169	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Rogowského cívka, Bočník	I2C, Pulsy, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7569	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Rogowského cívka, Bočník	I2C, Pulsy, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7566	Irms, VA, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Bočník	I2C, Pulsy, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7761B	Watt	Proudový transformátor, Bočník	Pulsy	20-Lead SSOP
ADE7757A	Watt	Proudový transformátor, Bočník	Pulsy	16-Lead SSOP
ADE7768	Watt	Proudový transformátor, Bočník	Pulsy	16-Lead SSOP
ADE7769	Watt	Proudový transformátor, Bočník	Pulsy	16-Lead SSOP
ADE7763	Irms, VA, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Rogowského cívka, Bočník	Pulsy, SPI	20-Lead SSOP
ADE7753	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Proudový transformátor, Rogowského cívka, Bočník	Pulsy, SPI	20-Lead SSOP
ADE7751	Watt	Proudový transformátor, Bočník	Pulsy	24-Lead SSOP
ADE7759	Watt	Proudový transformátor, Rogowského cívka, Bočník	Pulsy, SPI	20-Lead SSOP
ADE7755	Watt	Proudový transformátor	Pulsy	24-Lead SSOP

2.3 Výběr mikrokontroléru

Na trhu je mnoho mikrokontrolerů, ze kterých lze vybírat. Pro náš návrh bylo stanoveno několik podmínek:

- musí mít dvě komunikační rozhraní, například 2x UART, 1x SPI a 1x UART, atd,
- cena,
- dobrá technická dokumentace,
- dobrá podpora od výrobce,
- spolehlivost,
- dostupnost na trhu (možnost nakoupit i v malém množství).

STM32F100

STM32F100xx zahrnuje vysoce výkonné ARM Cortex M3 32-bitové RISC jádro pracující na frekvenci 24 MHz. Disponuje vysokorychlostní vestavěnou flash pamětí 128 kB a 8 kB SRAM). Nabízí standardní komunikační rozhraní (až 2x I2C, 2x SPI, 1x HDMI CEC, až 3x UART). Uvnitř je integrován jeden 12-bitový A/D převodník, dva 12-bitové D/A převodníky, šest univerzálních 16-bitových časovačů a jeden PWM časovač. Napájecí napětí je 3,6 V a komplexní sada úsporného režimu umožňuje konstrukci aplikací s nízkou spotřebou energie [16].

Základní vlastnosti [16]:

- ARM 32-bit Cortex M3 CPU pracující na maximální frekvenci 24 MHz,
- 16 - 128 kB flash paměti, 4-8 kB SRAM,
- 4-24 MHz krystalový oscilátor,
- sleep, stop a pohotovostní režimy,
- teplotní čidlo,
- dva watchdog časovače,
- až dvě I2C rozhraní,
- až tři UART rozhraní,
- až dvě SPI rozhraní (12 Mbit/s),
- výpočetní jednotka CRC.

STM8S003

STM8S003xx 8-bitové mikrokontrolery nabízejí 8 kB flash paměti. Výkon a odolnost zajišťuje integrovaná paměť EEPROM s podporou až 100 000 zápisů. Moderní jádro a periferní zařízení vyrobené technologií state-of-art má frekvenci 16 MHz [17].

Základní vlastnosti [17]:

- jádro STM8 má frekvenci 16 MHz s Harvardskou architekturou,
- 8 kB flash paměti a 1 kB RAM,
- 128 bytů paměti EEPROM s podporou až 100 000 zápisu,
- napájecí napětí je 2,95 až 5,5 V,
- režimy s nízkým příkonem (wait, active-halt, halt),
- 16-bitový univerzální časovač
- 8-bitový základní časovač s 8-bitovou předděličkou,
- nezávislé watchdog časovače,
- až dvě SPI rozhraní (12 Mbit/s),
- komunikační rozhraní UART,
- SPI rozhraní až 8 Mbit/s,
- I2C rozhraní až 400 kbit/s.

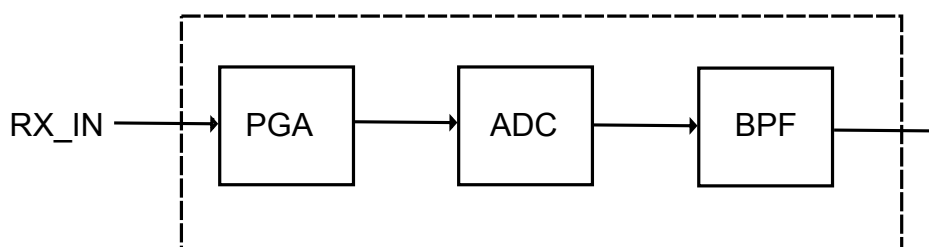
ATmega64

ATmega64 je CMOS 8-bitový mikrokontroler založený na AVR rozšířený architekturou RISC a vyznačuje se nízkou spotřebou energie. ATmega64 dosahuje výkonnosti blížící se 1 MIPS na MHz, což umožňuje optimalizaci spotřeby energie na úkor rychlosti zpracování. Jádro AVR v sobě spojuje bohatou instrukční sadu s 32 obecnými registry. Všechny registry jsou přímo připojeny k aritmetické logické jednotce (ALU), která umožňuje, že dva nezávislé registry můžou být přístupné v jedné instrukci provedené v jednom hodinovém cyklu [18].

Základní vlastnosti [18]:

- výkon až 16 MIPS při 16 MHz,
- 64 kB flash paměti, 2 kB EEPROM, 4 kB SRAM,
- SPI, 2x UART,
- dva 8-bitové časovače/čítače,
- dva rozšířené 16-bitové časovače/čítače,
- 53 programovatelných vstupů/výstupů,

- programovatelný watchdog časovač,
- 8-kanálový, 10-bitový A/D převodník,
- napájecí napětí 4,5-5,5 V,
- pouzdro 64-QFN.



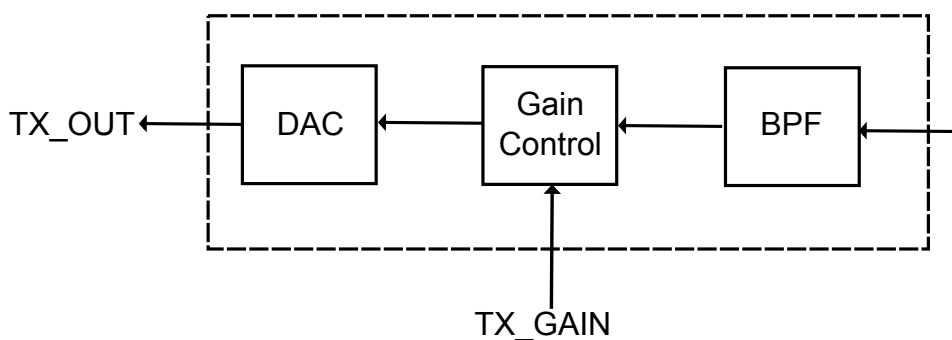
Obr. 3.2: Blokové schéma vysílacího obvodu[11].

- Pásmová propust (BPF).

Vysílací obvod:

Vysílací obvod, který můžeme vidět na obrázku (3.3), se skládá z těchto částí:

- Digitálně analogový převodník (DAC), který generuje lineární signál v celém jeho pracovním rozsahu.
- Řízení zisku (Gain Control) umožňuje zmenšit výstupní signál tak, aby odpovídal požadované úrovni přenosu. Amplituda vysílaného signálu se nastavuje v logaritmickém měřítku ve 32 krocích prostřednictvím parametru TX_GAIN. Rozsah je od 0 až do -31 dB [11].
- Pásmová propust (BPF).



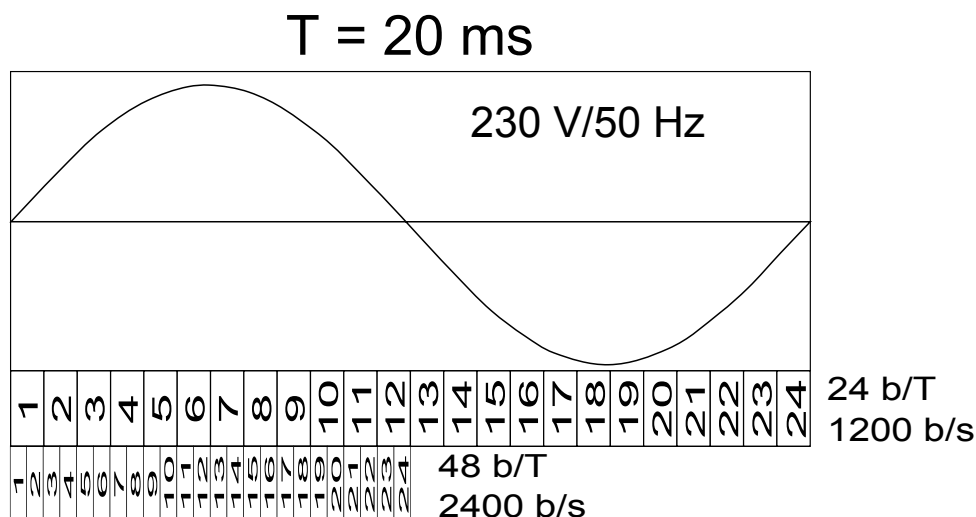
Obr. 3.3: Blokové schéma přijímacího obvodu[11].

Výkonový zesilovač:

Integrovaný zesilovač se vyznačuje vysokou linearitou, které je potřebná k zajištění různých mezinárodních norem (CENELEC, FCC, atd.) z důvodu omezení rušivých elementů na síti. Výstupní proud je až 1 A rms[11].

Časování bitů

Datová komunikace je synchronizována s průchodem síťového napětí nulou. Bity jsou dynamicky upravovány, aby přes jednu periodu bylo posláno 24, nebo 48 bitů. Výsledná přenosová rychlost je závislá na okamžité síťové frekvenci. S nominální frekvencí 50 Hz je výsledná rychlost 1200 b/s při 24 bitech na periodu a 2400 b/s při 48 bitech na periodu, což můžeme vidět na obrázku (3.4)[11].



Obr. 3.4: Časování bitů[11].

Struktura rámce

Rámec na fyzické úrovni je v souladu s IEC61334-5-1 a je složen ze 45 bytů (360 bitů) následujícím způsobem [11]:

- 2 byty preamble (PRE) (AAAAh),
- 2 byty rámcový oddělovač (SSD) (54C7h)
- 38 byty přenášená data (P_sdu)
- 3 byty pro pozastavení nebo alarm.

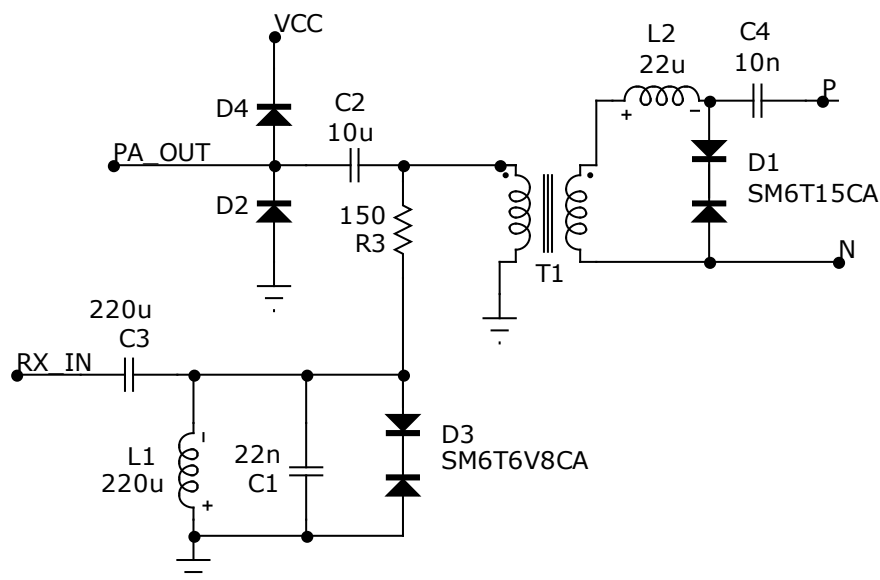
Byty jsou odesílány od nejvýznamnějších bytů (MSB) k méně významným (LSB). Bity v bytu jsou poskládány ve stejné podobě, což je od MSB po LSB. Grafická struktura rámce je vidět na obrázku (3.5)[11].

2B	2B	38B	3B
PRE	SSD	P_sdu	Pauza/Signalizace

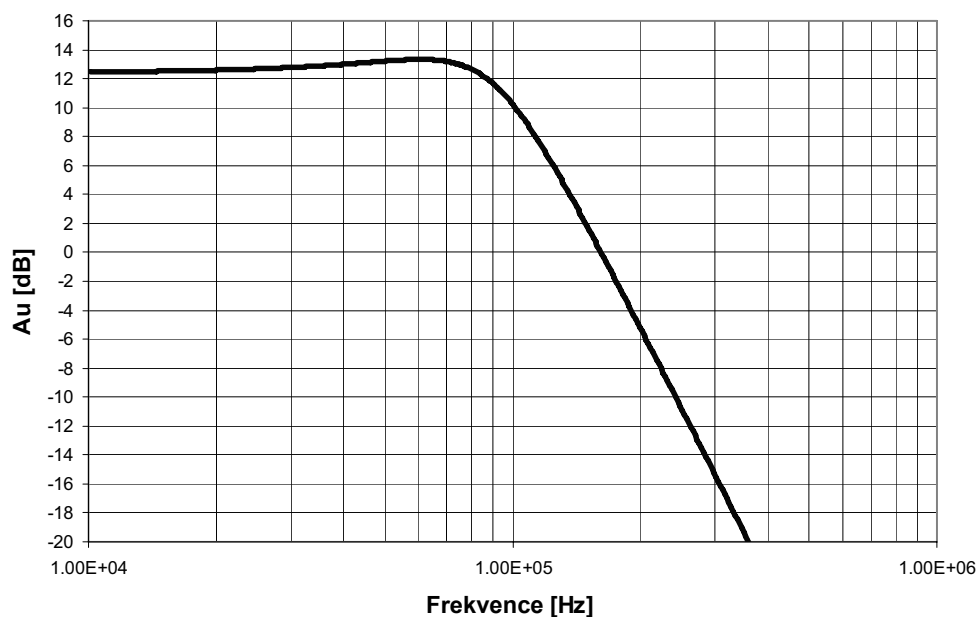
Obr. 3.5: Struktura rámce na fyzické vrstvě[11].

3.1.2 Vazební obvod a přijímací filtr

Jelikož modem pracuje v síti 230 V/50 Hz, je základním problémem účinné potlačení síťové frekvence 50 Hz, aniž bychom potlačili pracovní frekvence PLC modemu. Dále je potřeba zajistit galvanické oddělení od sítě a k tomuto účelu použijeme vazební obvod a přijímací filtr, které můžeme vidět na obrázku (3.6). Graf tohoto zapojení můžeme vidět na obrázku (3.7)



Obr. 3.6: Navrhnutý vazební obvod a přijímací filtr.[15].



Obr. 3.7: Frekvenční charakteristika navrženého přijímacího filtru.[15].

Vazební obvod:

Vazební obvod obsahuje kondenzátor C_2 , který odstraňuje stejnosměrnou složku, transformátor T_1 ke galvanickému oddělení a cívky a poměr je 1:1. Dále obsahuje ochranný kondenzátor C_4 .

Cívka L_2 byla přesně zvolena, aby měla vysoké nasycení proudu ($> 2\text{ A}$) a velmi nízký ekvivalentní sériový odpor ($< 0,1\ \Omega$), aby se omezilo zkreslení a vložení ztráty i s velkým lineárním zatížením.

Cívka L_2 ($22\ \mu\text{H}$) a kondenzátor C_4 ($10\ \text{nF}$) vytváří sériový rezonanční obvod a jeho rezonanční frekvenci vypočítáme takto:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L_2 \cdot C_4}} = 71\ \text{kHz}. \quad (3.1)$$

Přijímací filtr:

Schéma zapojení filtru můžeme vidět na obrázku (3.6). Obvod obsahuje i hodnoty součástek, které se dosadí do vzorců uvedených níže. Tento obvod je tvořen sériovým zapojením rezistoru R_3 s paralelním rezonančním LC obvodem. Z toho můžeme usoudit, že se jedná o pásmovou propust druhého řádu.

Přenosová funkce filtru je [15]:

$$R(s) = \frac{\frac{s \cdot L_1 + R_L}{L_3 \cdot L_1 \cdot C'_1}}{s^2 + \frac{R_3 \cdot R_L \cdot C'_1 + L_1}{R_3 \cdot L_1 \cdot C'_1} \cdot s + \frac{R_3 + R_L}{R_3 \cdot L_1 \cdot C'_1}}, \quad (3.2)$$

kde R_L je parazitní odpor cívky L_1 (okolo 2Ω) a C'_1 je parazitní kapacita transilu D_3 (okolo 2 nF).

Střední frekvence filtru je [15]:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \omega_c = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{R_3 + R_L}{R_3 \cdot L_1 \cdot C'_1}} \cong \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L_1 \cdot C'_1}} = 69 \text{ kHz}. \quad (3.3)$$

Činitel jakosti filtru je [15]:

$$Q = \frac{R_3 \cdot L_1 \cdot C'_1}{R_3 \cdot R_L \cdot C'_1 + L_1} \cdot \omega_c = 1,4. \quad (3.4)$$

Činitel jakosti a selektivita filtru závisí na hodnotě R_3 a na R_L . Při zvyšování hodnoty R_L dojde ke snižování selektivity a při zvyšování R_3 dojde ke zvyšování selektivity.

3.1.3 Přenosový filtr

Přenosový aktivní filtr je založen na výkonovém zesilovači v PLC modemu s externími vstupními a výstupními piny, aby filtrační síť mohla být řešena na míru. Přenosový aktivní filtr se skládá z jednoduchého RC filtru typu dolní propust a aktivním filtru 2. řádu typu Sallen-Key. RC filtr typu dolní propust, složen z rezistoru R_{12} a kondenzátoru C_9 je zaměřen na mezní frekvenci téměř 80 kHz pro první filtraci nežádoucích harmonických z TX_OUT. Zapojení můžeme vidět na obrázku (3.8) a frekvenční charakteristiku na grafu (3.7). Přenosová funkce propusti 2. řádu Sallen-Key [15]:

$$A(s) = \frac{A_u}{\frac{s^2}{\omega_C^2} + \frac{s}{\omega_C \cdot Q} + 1}, \quad (3.5)$$

kde A_u je zesílení invertujícího operačního zesilovače. Zesílení operačního zesilovače se nastavuje pomocí rezistorů R_8 a R_{19} , ke kterým jsou připojeny kompenzační

kondenzátory C_{10} a C_{13} . Výpočet zesílení[15], kde jsou dosazeny hodnoty ze schématu (3.8):

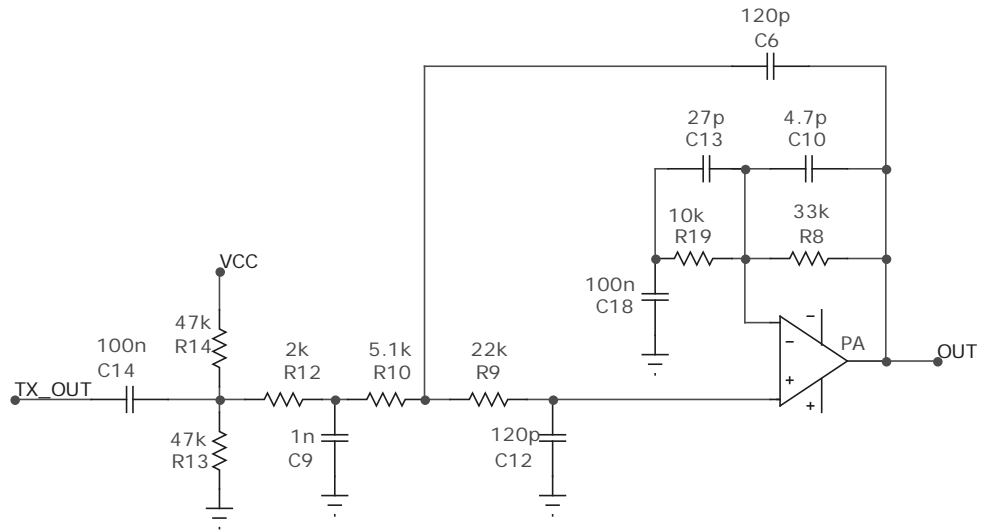
$$A_u = 1 + \frac{R_8}{R_{19}} = 1 + \frac{33 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 4,3 = 12,7 \text{ dB.} \quad (3.6)$$

Mezní frekvence přenosového filtru je [15]:

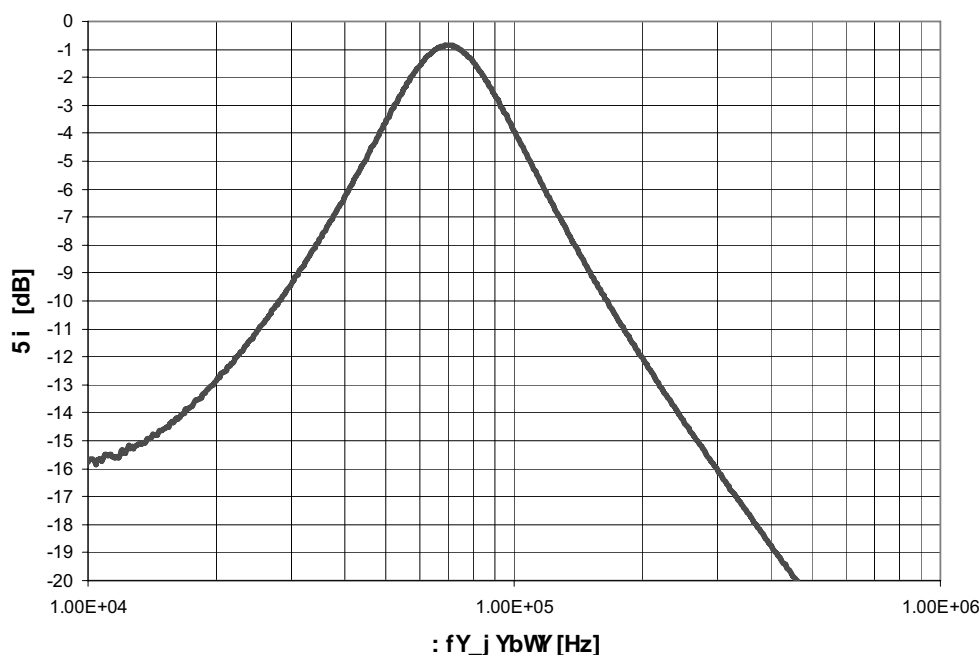
$$f_c = 1 + \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{R_9 \cdot R_{10} \cdot C_6 \cdot C_{12}}} = 125 \text{ kHz.} \quad (3.7)$$

Jakost přenosového filtru je [15]:

$$Q = \frac{\sqrt{R_9 \cdot R_{10} \cdot C_6 \cdot C_{12}}}{R_{10} \cdot C_{12} + R_9 \cdot C_6 + R_{10} \cdot C_6 \cdot (1 - A_u)} = 1,03. \quad (3.8)$$



Obr. 3.8: Schéma zapojení navrženého přenosového filtru.[15].



Obr. 3.9: Frekvenční charakteristika navrženého přenosového filtru.[15].

3.1.4 Ochrana proti přepětí

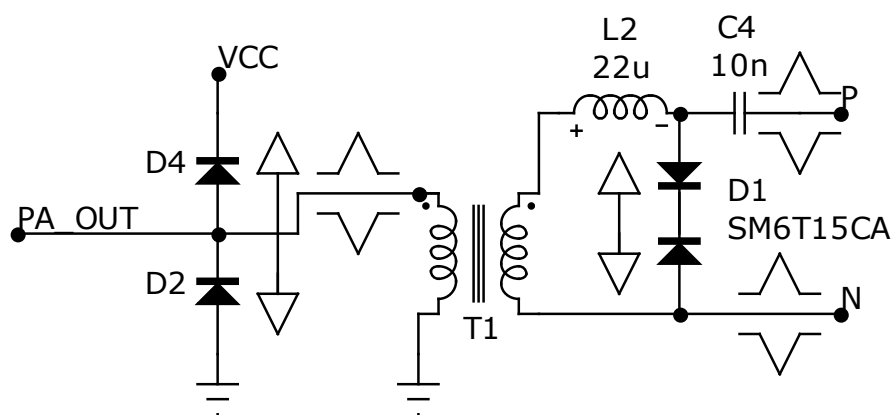
Specifická struktura spojovacího rozhraní obvodu je slabá proti vysokým napetovým rušením, které pochází z vnějšího prostředí. Z tohoto důvodu je vhodné přidat některé specifické ochrany, aby se zabránilo poruchám, které plynou z použité sítě. Jedná se zejména o poškození interního napájení obvodu ST7570 [15].

Tento druh aplikace se může používat jak ve vnitřním, tak i venkovním prostředí (obytné budovy, obchodní budovy, lehký průmysl, atd.). Z tohoto důvodu jsou požadavky na odolnost pro každou měřicí aplikaci ve frekvenčním pásmu 9-95 kHz pomocí PLC uvedeny v evropském dokumentu EN50065-2-3, který se týká norem EN61000 a ENV50204. Tyto normy zahrnují přepětové zkoušky, jak v běžném režimu, tak v diferenciálním režimu (± 4 kV špičkově, $t_R = 1,2 \mu s$, $t_N = 50 \mu s$) a pokračuje zkouškou na krátké impulzy (± 2 kV špičkově, $t_R = 5 ns$, $t_H = 50 ns$, opakovací frekvence 5 kHz) [15].

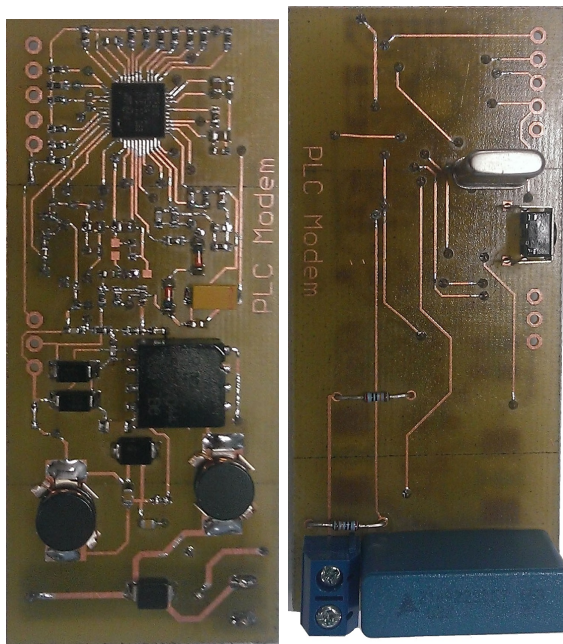
Proti závažně vysokým hodnotám napětí je potřeba použít kondenzátor C_4 v provedení Y2. Toto provedení odolá krátkým impulzům do 5 kV.

Ochranná zařízení musí být zahrnuta do návrhu plošného spoje jak je popsáno níže. Obrázek (3.10) ukazuje ochranu proti špičkám v síti. Schottky diody D_2 a D_4 jsou schopné rychle vstřebat přechodné vysoké napětí na vstupu. V případě diferenciálního režimu poruchy, kdy je rozdíl napětí vyšší než 15 V p-p, ochrání obvod

transil dioda D_1 . Transil dioda D_1 je nejvíce robustní ochrana, která je schopna absorbovat většinu energie jakéhokoli příchozí rušení [15].



Obr. 3.10: Ochrana proti přepětí.[15].



Obr. 3.11: Foto hotového modemu.

3.2 Návrh wattmetru

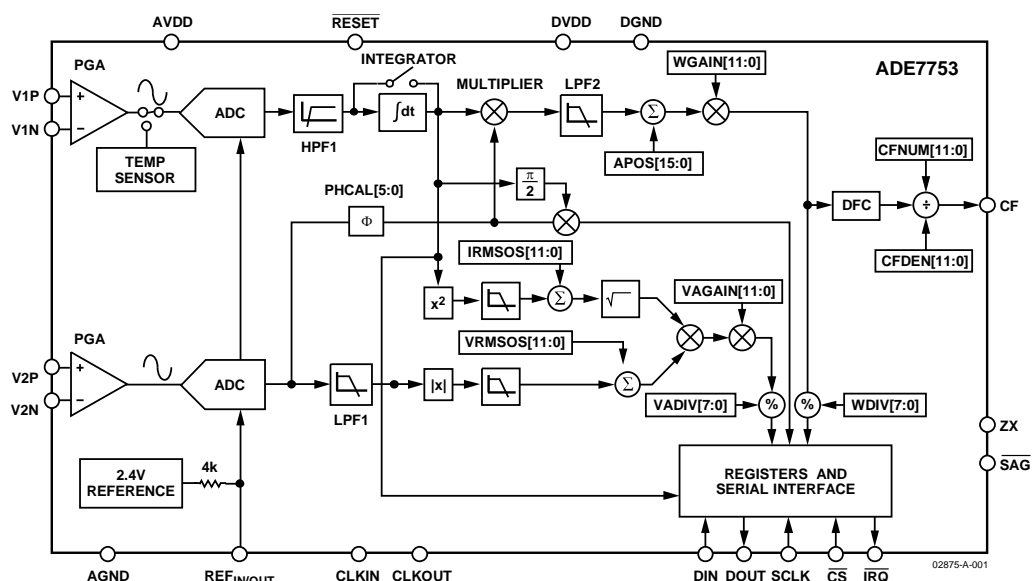
3.2.1 Základní vlastnosti wattmetru ADE7753

ADE7753 je integrovaný obvod pro měření elektrické energie s vysokou přesností v jednofázové soustavě. Integrovaná obvod obsahuje dva měřicí napěťové vstupy s programovatelnými měřicími zesilovači a 16-bitovými převodníky $\Sigma - \Delta$ druhého řádu. Na prvním vstupu je navíc digitální nastavitelný integrátor a teplotní senzor. Nastavitelný integrátor poskytuje přímé rozhraní k di/dt proudovým senzorům, jako jsou Rogowskiho cívka, což eliminuje spotřebu externího analogového integrátoru a výsledkem je vynikající dlouhodobá stabilita a přesná fáze mezi proudovým a napěťovým kanálem[25].

ADE7753 posílá naměřená data přes rozhraní SPI, nebo lze činný výkon měřit pomocí výstupní frekvence. Různé funkce kalibrace systému, jako jsou korekce offsetu, kalibrace fáze, kalibrace výkonu, zajišťují vysokou přesnost[25].

Základní vlastnosti[25]:

- splňuje normy IEC 60687/61036/61268 a IEC 62053-21/62053-22/62053-23,
- integrovaný digitální integrátor pro přímé snímání proudu ze senzorů di/dt ,
- programovatelné měřicí zesilovače,
- měří činný výkon, jalový výkon zdánlivý výkon, napětí a proud,
- chyba měření menší než 0,1% v dynamickém rozsahu 1000:1 pro teplotu 25 °C,
- digitální kalibrace ,
- teplotní čidlo s odchylkou ± 25 °C,
- SPI rozhraní,
- impulzní výstup s programovatelnou frekvencí,
- funkce přerušení IRQ,
- funkce monitorování SAG,
- digitální kalibrace,
- spotřeba 5 mA,
- napájecí napětí 5 V,
- pouzdro SSOP.



Obr. 3.12: Vnitřní zapojení ADE7753[25].

ADE7753 obsahuje dva měřící vstupy V1 a V2 pro připojení senzoru proudu a senzoru napětí.

3.2.2 Proudový senzor

ADE7753 podporuje několik typů proudových senzorů[25].

Podporované senzory:

- Proudový transformátor
- Rogowského cívka
- Bočník

Pro toto zařízení je nejvhodnější použít bočník z důvodu nízké ceny a malé velikosti. Bočník je rezistor s velmi malým odporem. Při průchodu proudu bočníkem se mezi jeho vývody vytvoří velmi malé napětí, které je nepřímě úměrné procházejícímu proudu. Bočník se do měřeného obvodu připojí mezi nulový vodič.

Výpočet velikosti odporu bočníku:

Velikost bočníku byla zvolena $5 \text{ m}\Omega$ od výrobce VISHAY DALE s tolerancí $\pm 1 \%$ a maximálním příkonu 5 W . Tento rezistor je přímo určený pro proudové aplikace s velkou teplotní stabilitou a zanedbatelnou indukčností. Rezistor je vyrobený z nikl-chrom drátu.

Při proudu 10 A je hodnota napětí na bočníku:

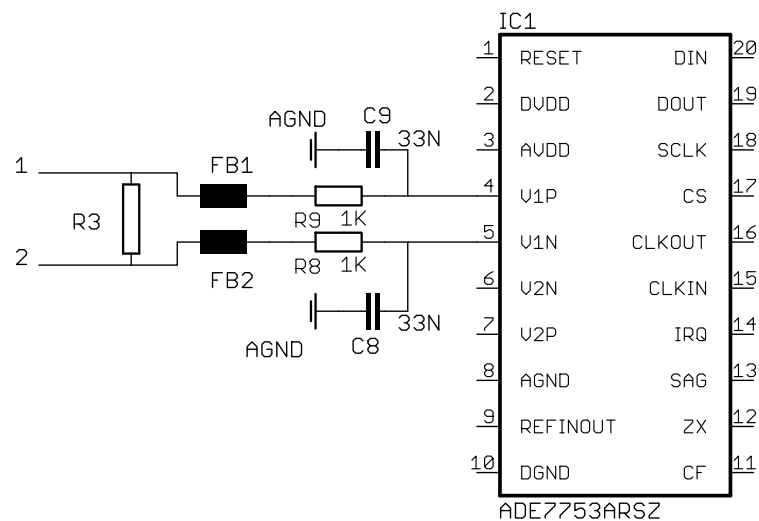
$$U = R \cdot I = 0,005 \cdot 10 = 50 \text{ mV}, \quad (3.9)$$

a maximální výkonový ztráta:

$$P = R \cdot I^2 = 0,005 \cdot 10^2 = 0,5 \text{ W}. \quad (3.10)$$

Schéma zapojení senzoru proudu:

Proudový senzor je připojen ke vstupu V1, jak je znázorněno na obrázku (3.13). Za rezistorem jsou zapojeny feritové perly, které slouží k odfiltrování vysokofrekvenčního rušení. Dále je připojen RC článek typu dolní propust, který slouží jako anti-aliasingový filtr pro A/D převodník. Vzorkovací frekvence je 894 kHz, která vychází z frekvence krystalu dělené v poměru 1:4[25]. Podle Nyquistova teorému je maximální frekvence vzorkovaného signálu 447 kHz, tedy 1/2 vzorkovacího signálu. Pásmo pro měření elektrické energie leží mezi 40 Hz až 2 kHz.



Obr. 3.13: Schéma zapojení proudového senzoru.

3.2.3 Napěťový senzor

ADE7753 podporuje dva typy napěťových senzorů[25].

Podporované senzory[25]:

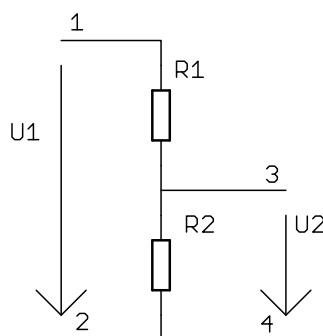
- transformátor napětí,
- dělič.

Jako napěťový senzor je použit dělič napětí z důvodu snadné implementace, velikosti a nízké ceny.

Výpočet velikosti odporu napěťového děliče:

Na vstupu wattmetru je síťové napětí 230 V a z toho je nutné získat napětí $\pm 0,5$ V. Hodnota 230 V je efektivní hodnota napětí, ale maximální hodnota, tj. amplituda síťového napětí je:

$$U_{max} = U_{ef} \cdot \sqrt{2} = 230 \cdot \sqrt{2} = 325,3 \text{ V}. \quad (3.11)$$



Obr. 3.14: Schéma zapojení napěťového senzoru.

Aby byl fázový posun na všech vstupech stejný, je použit RC článek jako u proudového senzoru. Z tohoto důvodu je odpor rezistoru R_2 1 k Ω . Výpočet napěťového děliče na obrázku (3.14) je:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} [\text{V}]. \quad (3.12)$$

Z tohoto vzorce R_1 vypočítáme:

$$R_1 = \frac{U_1 \cdot R_2}{U_2} - R_2 = \frac{325,3 \cdot 10^3}{0,5} - 10^3 = 649 \text{ k}\Omega. \quad (3.13)$$

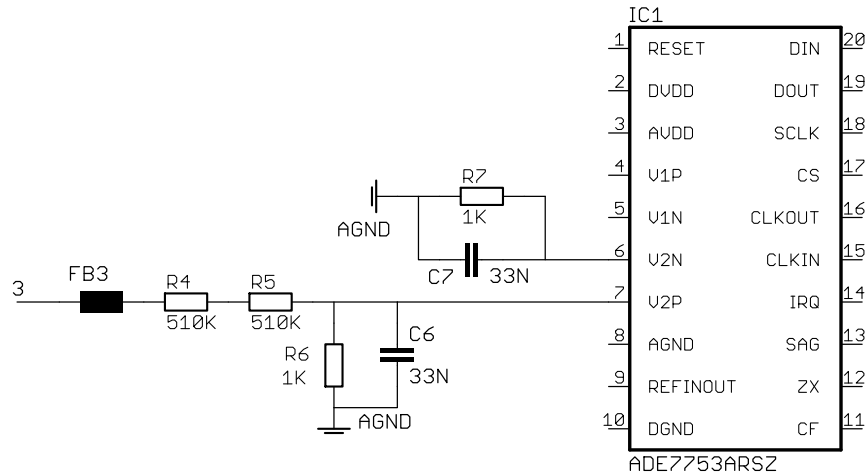
Tato vypočítaná minimální hodnota odporu R_1 je pro praktickou realizaci nepoužitelná. Problém je, že jsme počítali s ideálním síťovým napětím 230 V, ale napětí se může měnit. Tolerance napětí je stanovena podle normy $\pm 10\%$. Dále je třeba uvažovat i rezervu, což je doporučeno i výrobcem v datasheetu [25].

Z důvodu efektivního napětí okolo 230 V je v případě použití SMD rezistorů vhodno rozdělit hodnotu R_1 mezi dva rezistory. Hodnota obou SMD rezistorů byla stanovena na 510 k Ω . Maximální hodnota napětí na vstupu wattmetru V2 je tedy:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 325 \cdot \frac{10^3}{1,02 \cdot 10^6 + 10^3} = 318,3 \text{ [mV]}. \quad (3.14)$$

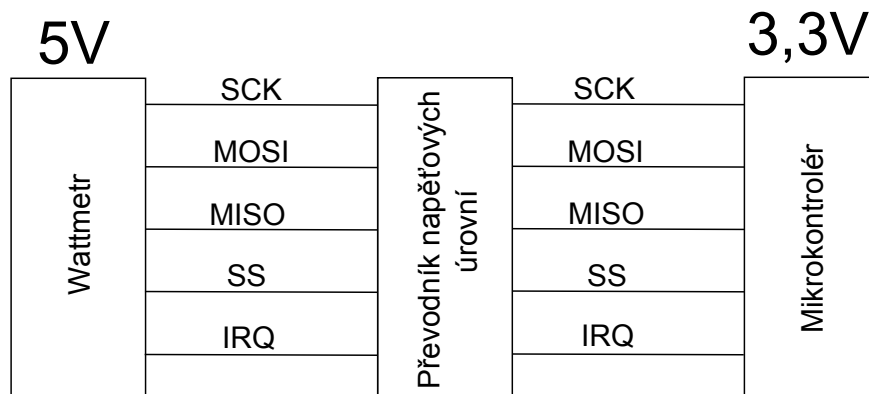
Zapojení napěťového senzoru:

Napěťový senzor je připojen ke vstupu V2, jak je znázorněno na obrázku (3.15). Na vstupu je feritová perla pro odfiltrování vysokofrekvenčních rušení, dále se nachází výše vypočítaný dělič, jehož součástí je RC členek typu dolní propust. Vypočítaný rezistor R_1 je zde na obrázku rozdělen do dvou SMD rezistorů R_4 a R_5 a rezistor R_2 je zde rezistor R_6 .



Obr. 3.15: Schéma zapojení napěťového senzoru.

3.2.4 Převodník napěťových úrovní

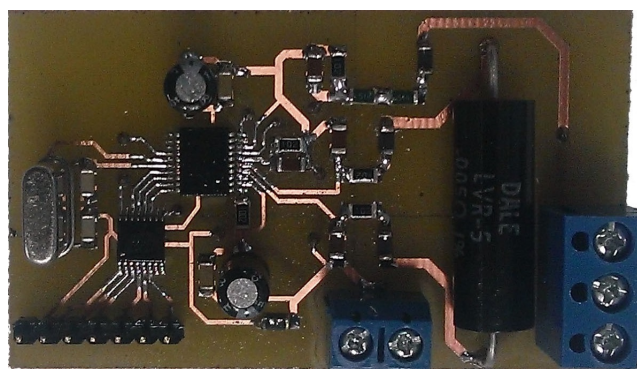


Obr. 3.16: Převod napěťových úrovní.

Protože wattmetr má na komunikačním rozhraní SPI napětí 5 V [25] a mikrokontrolér napětí 3,3 V [16] je nutné použít převodník napěťových úrovní. Jelikož bylo třeba převést napětí na pěti vstupech/výstupech (3.16), byl vybrán převodník napětí TXB0106 od firmy Texas Instruments [27].

Základní vlastnosti[27]:

- napětí 1,2 V až 3,6 V na port A,
- napětí 1,65 V až 5,5 V na port B,
- spotřeba 4, μ A.



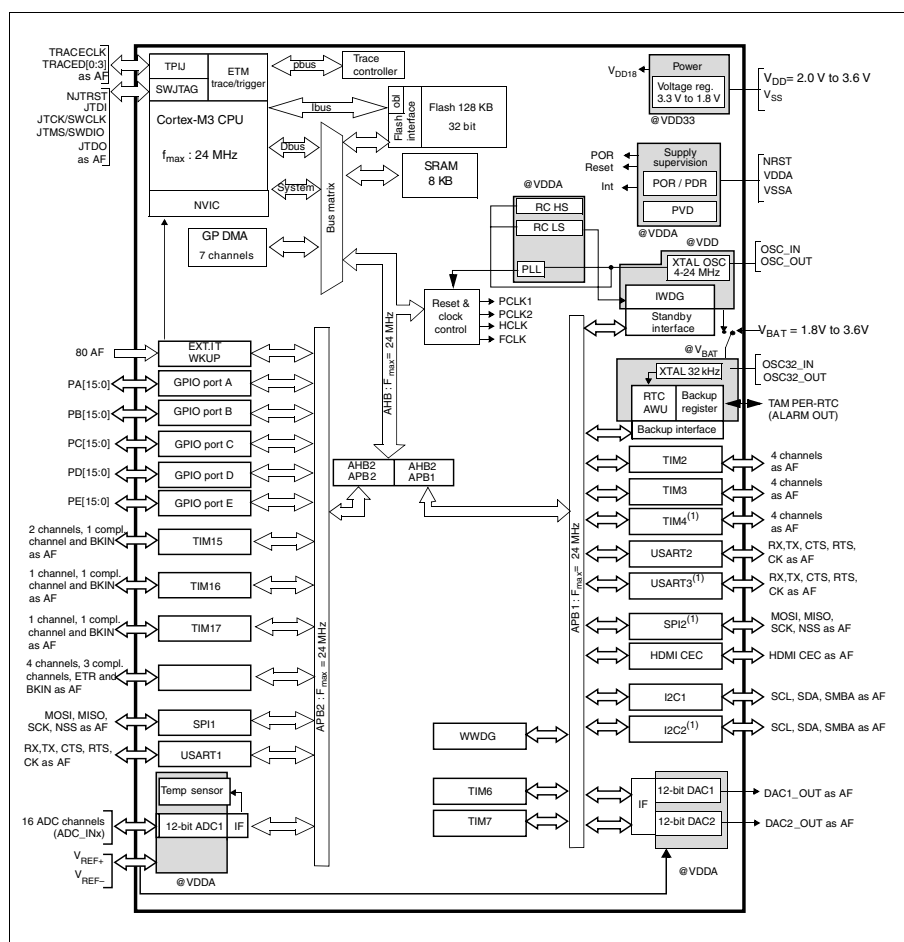
Obr. 3.17: Foto hotového wattmetru.

3.3 Návrh zařízení pro komunikaci

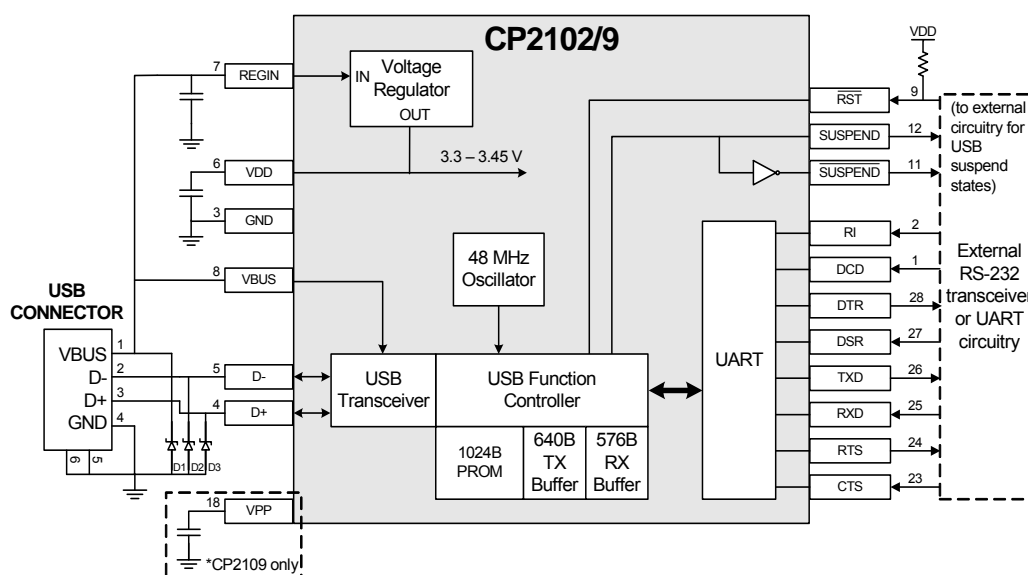
3.3.1 Základní vlastnosti STM32VLDISCOVERY

Ke komunikaci mezi PLC modemem (v režimu slave) a wattmetrem v případě měřicího zařízení a také mezi PLC modemem (v režimu master) a počítačem v případě zařízení pro přenos dat do databáze, je nutné použít mikrokontrolér. Jako nejvhodnější pro tuto aplikaci byl vybrán mikrokontrolér STM32F100[16], ke kterému vyrábějí vývojový kit STM32VLDISCOVERY[26] za přijatelnou cenu. Na tomto mikrokontroléru bude použito rozhraní SPI a UART v případě měřicího zařízení a 2x UART v případě zařízení pro komunikaci s počítačem.

Vývojový kit obsahuje programátor ST-Link[26]. Nahrávání aplikace a debugování aplikace je použit USB kabel. Jako vývojové prostředí lze využít TrueSTUDIO (Atollic), EWARM (IAR) a MDK-ARM (Keil)[26].

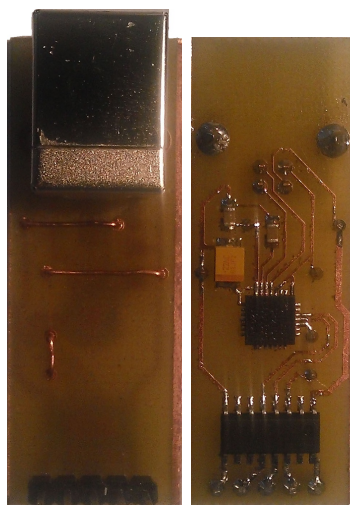


Obr. 3.18: Vnitřní zapojení STM32F100RB.[3.18].



Obr. 3.20: Vnitřní zapojení CP2102[24].[3.20].

Z důvodu ochrany počítače je k tomuto převodníku přidán vysokorychlostní optočlen HCPL-091J od firmy Avago Technologies[28].



Obr. 3.21: Obrázky hotového převodníku.

4 ZÁVĚR

Měření elektrické energie je v dnešní době důležité. Proto realizace zařízení pro měření spotřeby má své opodstatnění. Dalším důležitým prvkem je shromažďování naměřených dat. Pro posílání naměřených dat z wattmetru do shromaždiště, což je v našem případě počítač, je zde použita úzkopásmová PLC technologie.

V teoretické části této práce jsou popsány vlastnosti technologie PLC. Je tu popsána historie, rušení na vedení, impedance vedení, základní používané modulace, typy vazebních obvodů atd. Jsou zde popsány i normy pro použití PLC technologie, zejména přidělená frekvenční pásma.

Další kapitola se zabývá popisem zamýšleného zařízení a výběrem hlavních řídicích obvodů jako je PLC modem, wattmetr a mikrokontrolér. Jsou zde popsány základní vlastnosti několika dostupných řídicích obvodů, ze kterých se byly vybrány nejvhodnější pro tuto realizaci. Parametry jsou přehledně vypsány a v případě řídicích obvodů PLC modemů a wattmetrů i porovnány přehledně v tabulce.

V poslední kapitole návrh a realizace zařízení jsou popsány podrobněji parametry použitých řídicích obvodů. Jako nejvhodnější řídicí obvod úzkopásmového PLC modemu byl vybrán ST7570 od firmy STMicroelectronics. U PLC modemu je popsán přijímací obvod, vysílací obvod, časování bytů a struktura rámce na fyzické vrstvě. Dále je zde návrh základních obvodů PLC modemu, což je vazební obvod, přijímací filtr, přenosový filtr a ochrana proti přepětí. Tyto obvodové části modemu byly odsimulovány v simulačním programu. Dále se zde nachází návrh wattmetru, pro který byl vybrán řídicí obvod ADE7753 od Analog Devices. ADE7753 má dva měřicí vstupy V1 a V2, první je proudový a druhý je napěťový. Pro proudový senzor byl zvolen rezistor o hodnotě $5\text{ m}\Omega$ a pro napěťový senzor byl použit dělič napětí. Součástí wattmetru je i převoník napěťových úrovní z důvodu rozdílných napěťových úrovní mezi wattmetrem (5 V) a mikrokontrolérem (3,3 V). Následuje popis zařízení pro komunikaci, které se skládá ze dvou částí. První část je mikrokontrolér STM32F100RB od firmy STMicroelectronics, který je součástí vývojového kitu STM32VLDISCOVERY. Druhá část je převodník z UART na USB pro přenos dat z mikrokontroléru do počítače. Na převodník UART-USB je použit řídicí obvod CP2102 od firmy Silicon Laboratories a jeho součástí je i optické oddělení z důvodu ochrany počítače.

Tyto zrealizované části zařízení byly otestovány a proměřeny. Wattmetr je plně funkční a naměřené hodnoty v zapojení odpovídají vypočítaným. Převodník je detekován počítačem a po nainstalování ovladačů komunikuje správně. PLC modem se nepodařilo oživit, respektive po připojení napětí byl odběr cca 20 mA, ale nekomunikoval. Problém se nepodařilo určit, avšak mohl být problém v řídicím obvodu PLC modemu například z důvodu elektrostatického výboje, nebo jeho složitého osazení.

LITERATURA

- [1] PROCHÁZKA, Radek. *Venkovní vedení VVN (I): Úvod do problematiky přenosové soustavy* [online]. 21.5.2007 [cit. 2012-10-29]. Dostupné z WWW: < <http://www.tzb-info.cz/4142-venkovni-vedeni-vvn-i> >.
- [2] HLAVÁČ, Jožin. *www.hw.cz* [online]. 24.11.1999, [cit. 2012-10-28]. Komunikace po síťovém rozvodu 220V. Dostupný z WWW: < www.hw.cz/Rozhrani/ART663-Komunikace-po-sitovem-rozvodu-220V.html >.
- [3] VANČATA P. *Access server* [online]. 05.12.2005 [cit. 2012-10-28]. Standardizace širokopásmových systémů přenosu po energetickém vedení. Dostupné z WWW: < <http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2005112801> >.
- [4] BILAL, Osama; LIU, Er; GAO, Yangpo. *DESIGN OF BROADBAND COUPLING CIRCUITS FOR POWERLINE COMMUNICATION* [online]. Helsinky : [s.n.], 2004 [cit. 2012-10-28]. Dostupné z WWW: < www.isplc2004.unizar.es/OSAMA%20BILAL.pdf >.
- [5] NĚMEC, Marek. *Zive.cz* [online]. 30.10.2003 [cit. 2012-10-28]. Sít skrze zásuvku. Dostupné z WWW: < www.zive.cz/clanky/sit-skrze-zasuvku/sc-3-a-114358/default.aspx >.
- [6] *Linuxsoft.cz* [online]. 2.5.2004 [cit. 2012-10-28]. Data z elektrické zásuvky - užitečná technologie nebo zdroj problémů?. Dostupné z WWW: < http://www.linuxsoft.cz/en/article.php?id_article=110 >.
- [7] *Yitran* [online]. 2011 [cit. 2012-11-30]. IT700. Dostupné z WWW: < <http://www.yitran.com/index.aspx?id=3351> >.
- [8] *Yamar Electronics Ltd.* [online]. 2011 [cit. 2012-10-28]. SIG60. Dostupné z WWW: < <http://www.yamar.com/datasheet/DS-SIG60.pdf> >.
- [9] *Semiconductor Components Industries* [online]. 2008 [cit. 2012-10-28]. AMIS-30585. Dostupné z WWW: < www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AMIS-30585-D.PDF >.
- [10] *Semiconductor Components Industries* [online]. 2008 [cit. 2012-11-30]. AMIS-49587. Dostupné z WWW: < http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AMIS-49587-D.PDF >.

- [11] *STMicroelectronics*[online]. 2012 [cit. 2012-10-29]. ST7570. Dostupné z WWW: < http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00274120.pdf>.
- [12] *STMicroelectronics*[online]. 2011 [cit. 2012-10-29]. ST7590. Dostupné z WWW: < http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00294970.pdf>.
- [13] *Maxim Integrated*[online]. 2008 [cit. 2012-10-28]. MAX2990. Dostupné z WWW: < <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX2990.pdf>>.
- [14] *Maxim Integrated*[online]. 2011 [cit. 2012-12-04]. MAX2992. Dostupné z WWW: < <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX2992.pdf>>.
- [15] *STMicroelectronics*[online]. 2012 [cit. 2012-10-29]. EVALST7570-1. Dostupné z WWW: < http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00271738.pdf>.
- [16] *STMicroelectronics*[online]. 2012 [cit. 2012-10-29]. STM32F100. Dostupné z WWW: < <http://http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00251732.pdf>>.
- [17] *STMicroelectronics*[online]. 2012 [cit. 2012-10-29]. STM8S003. Dostupné z WWW: < http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/DM00024550.pdf>.
- [18] *Atmel Corporation*[online]. 2012 [cit. 2012-10-29]. ATmega64. Dostupné z WWW: < <http://www.atmel.com/Images/2490s.pdf>>.
- [19] DOSTALÍK, Jan. *Internet pro vsechny*[online]. 29.4.2008 [cit. 2012-12-04]. Internet z elektrické zásuvky - spolehlivě, rychle a levně. Dostupné z WWW: <www.internetprovsechny.cz/clanek.php?cid=200dostalík>.
- [20] VAC[online]. 2007 [cit. 2012-10-28]. Power Line Communication Coupling Transformers. Dostupné z WWW: < <http://www.vactek.se/admin/UploadFile.aspx?path=/UserUploadFiles/VAC/PLC%20Transformers.pdf>>.
- [21] TCHIGAREV, Michael Informační technologie : Přenos dat při 220 V. In Informační technologie. Rybinsk : Grand Prix, 5.10.2009. s. 28. Dostupné z WWW: <www.compeljournal.ru/images/magazines/NE_13_2009.pdf>.

- [22] *Pandatron.cz*[online]. 2008 [cit. 2013-05-20]. Převodník USB na sériový port s CP2102. Dostupné z WWW: <http://pandatron.cz/?573&prevodnik_usb_na_seriovy_port_s_cp2102>.
- [23] *sysala.cz*[online]. 2008 [cit. 2013-05-20]. Převodník UART <> USB. Dostupné z WWW: <<http://www.sysala.cz/Elektro/usbrs232/index.htm>>.
- [24] *Silicon Labs*[online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. USB to UART Bridge. Dostupné z WWW: <<http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/CP2102-9.pdf>>.
- [25] *Analog Devices*[online]. 2010 [cit. 2013-05-20]. ADE7753. Dostupné z WWW: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7753.pdf>.
- [26] *STMicroelectronics*[online]. 2012 [cit. 2012-10-29]. STM32VLDISCOVERY. Dostupné z WWW: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data_brief/CD00277245.pdf>.
- [27] *Texas Instruments*[online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. 6-BIT BIDIRECTIONAL VOLTAGE-LEVEL TRANSLATOR. Dostupné z WWW: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/txb0106.pdf>>.
- [28] *Avago Technologies*[online]. 2011 [cit. 2013-05-27]. High Speed Digital Isolators. Dostupné z WWW: <<http://www.avagotech.com/docs/AV02-0137EN>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

PLC Power Line Carrier, Power Line Communication

EU Evropská unie

PLL Phase Locked Loop, neboli smyčka fázového závěsu. Jedná o závěs, který udržuje frekvenci vnitřního oscilátoru.

CELENEC European Committee for Electrotechnical Standardization v překladu Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice se sídlem v Bruselu. Zkratka je z francouzského názvu Comité Européen de Normalisation Electrotechnique.

IEC International Electrotechnical Commission v překladu Mezinárodní elektrotechnická komise. Založena roku 1906 se sídlem v Ženevě. Je to světová organizace, která vydává normy IEC v elektrotechnice a elektronice.

MAC Media Access Control přeloženo do češtiny znamená Kontrola přístupu k médiu. Umožňuje adresování a kontrolní mechanismus který je zapotřebí pro přístup ke kanálům.

ARM ARM je architektura procesorů a tato zkratka vychází z názvu Advanced RISC Machine.

USB Nezkráceně Universal Serial Bus. Je to univerzální sériová sběrnice pro připojení periférií k počítači.

UART Universal asynchronous receiver/transmitter. Rozhraní pro přenos dat mezi zařízeními.

SPI Serial Peripheral Interface. Rozhraní pro přenos dat mezi zařízeními.

RS-232 RS-232 je komunikační rozhraní z roku 1969, které se používá jako komunikační rozhraní počítačů a elektroniky.

PHY Fyzická vrstva.

FCC Federální komunikační komise Spojených států amerických

RISC Reduced Instruction Set Computing je architektura mikroprocesorů s redukovanou instrukční sadou optimalizovanou pro jednoduchou sadu strojových instrukcí.

AVR AVR je značení 8-bitových a 32-bitových mikrokontrolérů typu RISC s harvardskou architekturou od firmy ATMEL

RS-232 RS-232 je komunikační rozhraní z roku 1969, které se používá jako komunikační rozhraní počítačů a elektroniky.

SEZNAM PŘÍLOH

A PLC Modem ST7570	61
A.1 Seznam součástek	61
A.2 Schéma zapojení	63
A.3 Schéma zapojení	64
A.4 Předloha plošného spoje a osazovací plán	65
B Wattmetr ADE7753	67
B.1 Seznam součástek	67
B.2 Schéma zapojení	68
B.3 Předloha plošného spoje a osazovací plán	69
C Převodník UART – USB	70
C.1 Seznam součástek	70
C.2 Schéma zapojení	71
C.3 Předloha plošného spoje a osazovací plán	72
D Obsah CD	73

A PLC MODEM ST7570

A.1 Seznam součástek

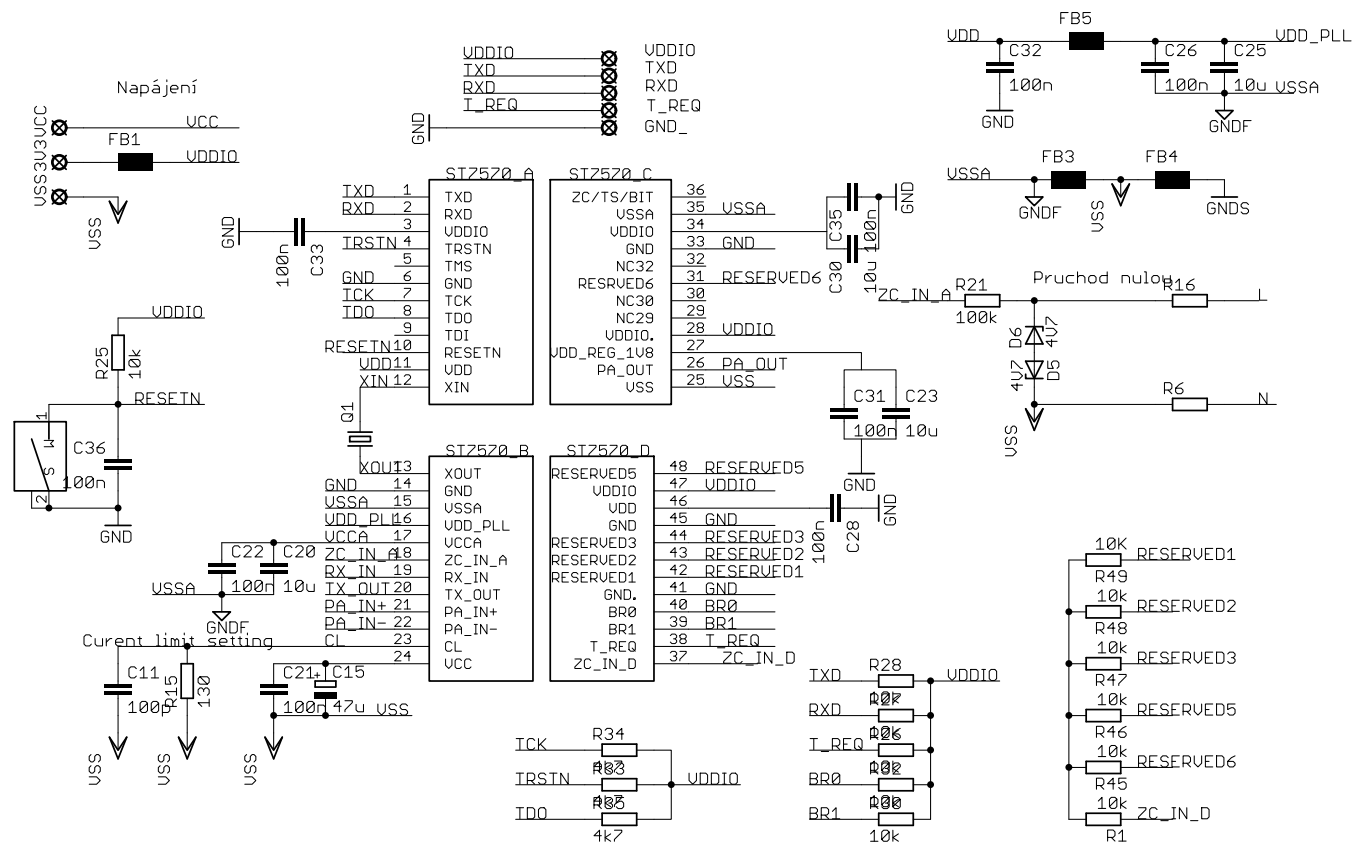
Tab. A.1: Tabulka použitých součástek.

Označení	Hodnota	Poznámka
IC1	ST7570	modem
T1	VAC 5024-X044	transformátor
L1	22 μ H	B82464A4223K
L2	220 μ H	B82464A4224K
D1	SM6T27CA	transil, SMB
D2, D4	STPS1L30A	schottkyho dioda, SMA
D3	SM6T6V8CA	transil, SMB
D5, D6	BZX79C4V7	zenerova dioda
Q1	8 MHz	HC49U
C1	22 nF	X7R 50 V, 0805
C2	10 μ F	X5R, 25 V, 0603
C3	10 nF	X7R 50 V, 0603
C4	220 nF	B32653A6224K
C6, C12	120 pF	NP0, 50 V, 0603
C9	1 nF	X7R, 50 V, 0603
C10	4,7 μ F	NP0, 50 V, 0603
C11	100 pF	NP0 50 V, 0603
C13	27 pF	NP0, 50 V, 0603
C14, C18, C21, C22, C26, C28, C31, C32, C33, C35, C36	100 nF	X7R, 50 V, 0603
C15	47 μ F	tantal, 16 V, 6032
C16, C17		nepřipojeno
C20, C23, C30	10 μ F	X7R, 10 V, 0805
C25	10 μ F	X5R 6,3 V, 0603
R1, R19, R25, R26, R27, R28, R30, R32, R45, R46, R47, R48, R49	10k Ω	0603
R3	150 Ω	0603
R6, R16	200k Ω	drát 0,4 W
R8	33 k Ω	0603
R9	22 k Ω	0603
Pokračování na další stránce		

Tab. A.1 – pokračování z předchozí stránky

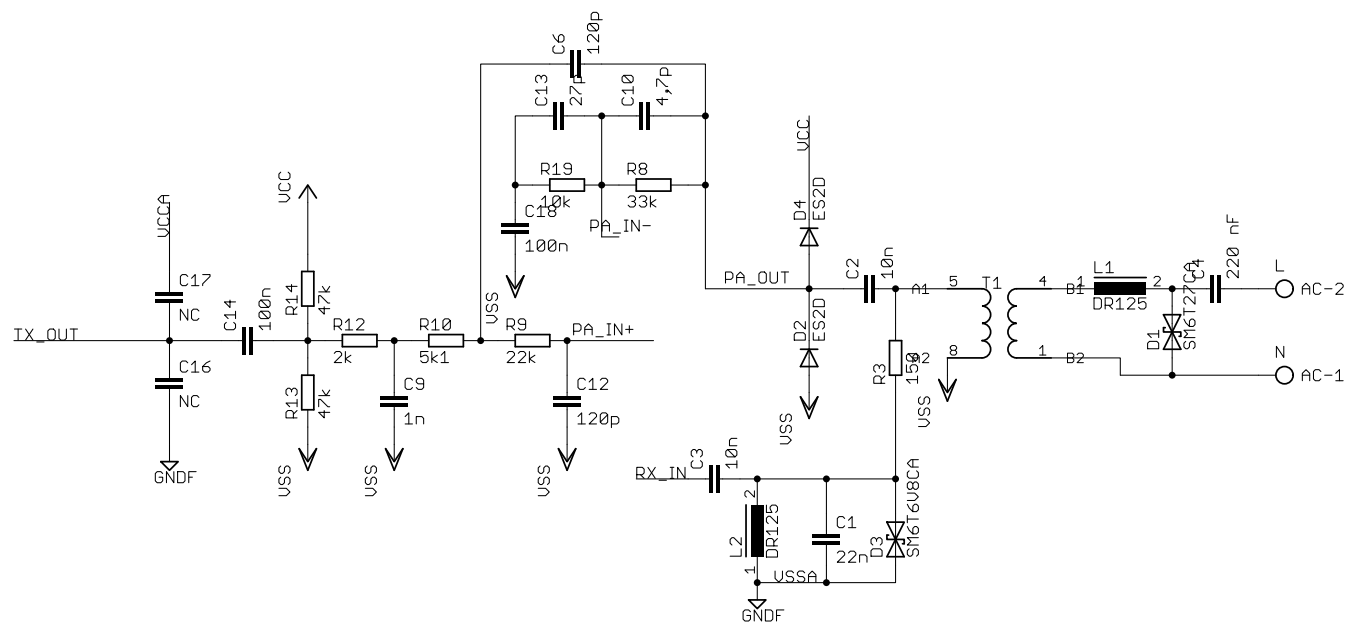
Označení	Hodnota	Poznámka
R10	5,1 k Ω	0603
R12	2 k Ω	0603
R13, R14	47 k Ω	0603
R15	130 Ω	0603
R21	100 k Ω	0603
R33, R34, R35	4,7 k Ω	0603
FB1, FB3, FB4, FB5	BLM21PG331SN1	0805
K2	ARK500/2	svorkovnice rozteč 5 mm
SW	tlačítko	pravý úhel

A.2 Schéma zapojení



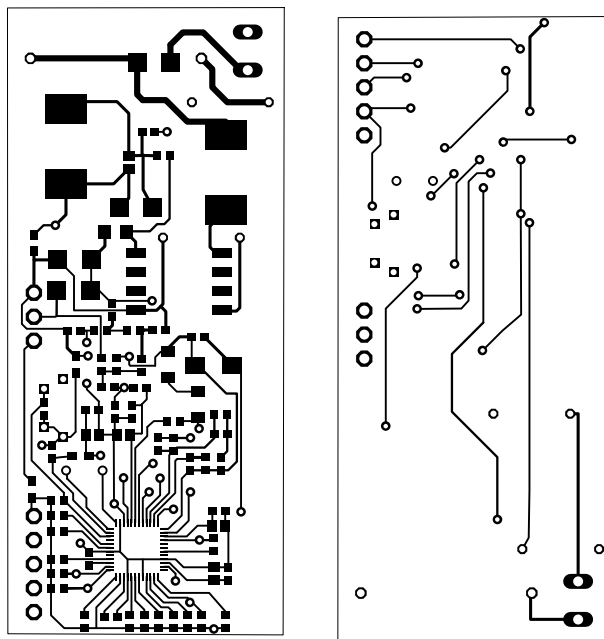
Obr. A.1: Schéma zapojení PLC modemu ST7570 1.část.

A.3 Schéma zapojení

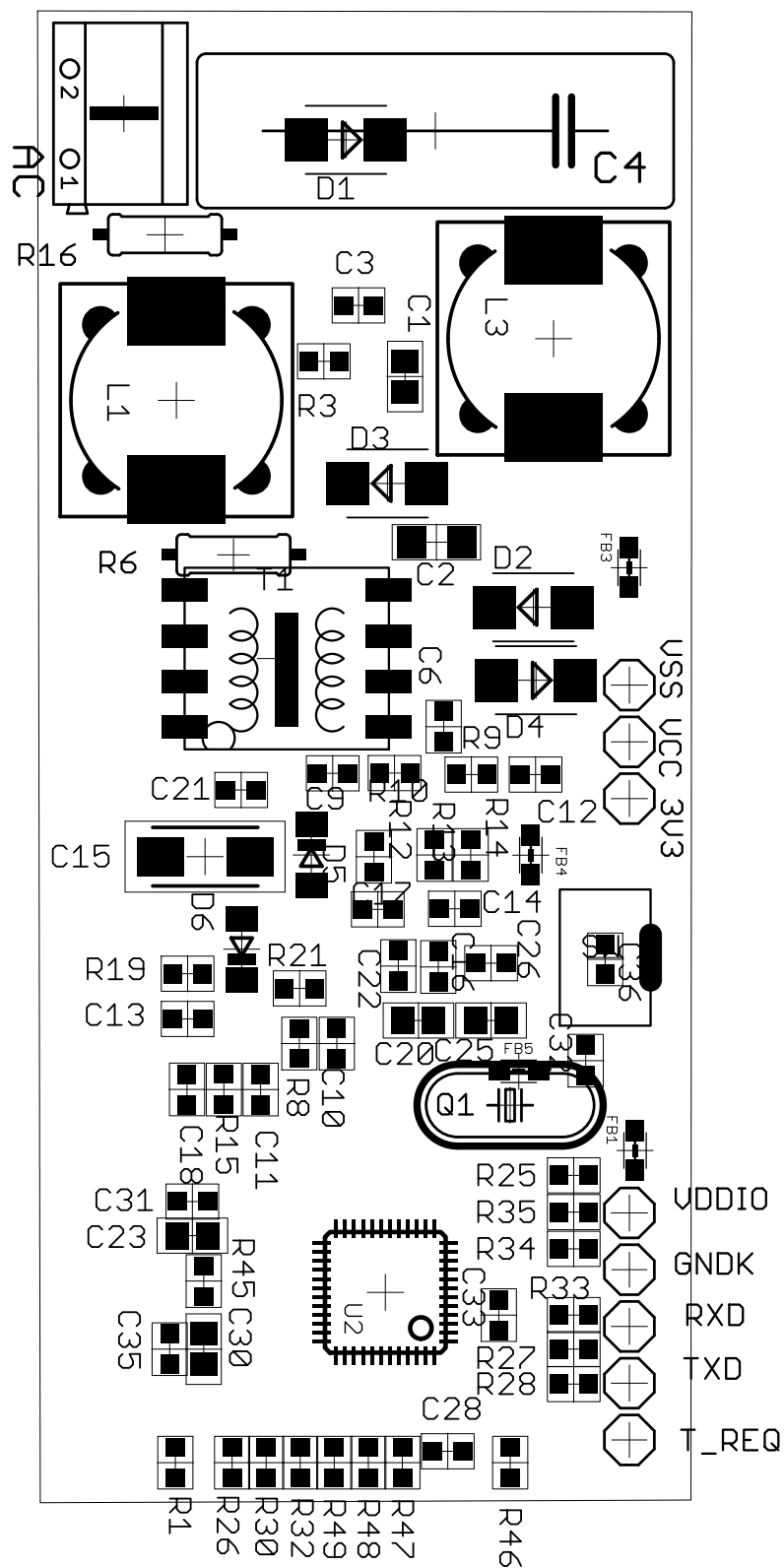


Obr. A.2: Schéma zapojení PLC modemu ST7570 2.část.

A.4 Předloha plošného spoje a osazovací plán



Obr. A.3: Předloha pro výrobu plošného spoje. Vlevo vrchní strana a vpravo spodní strana.



Obr. A.4: Osazovací plán.

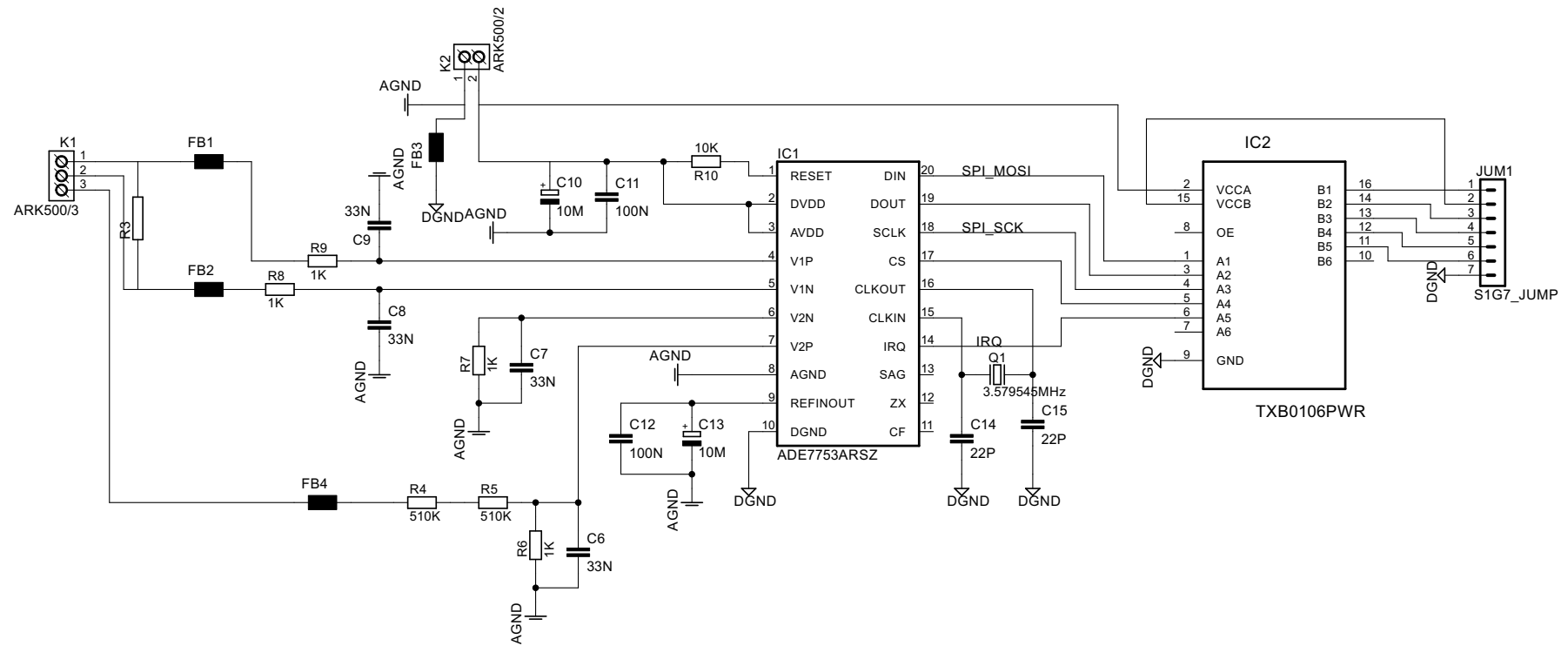
B WATTMETR ADE7753

B.1 Seznam součástek

Tab. B.1: Tabulka použitých součástek.

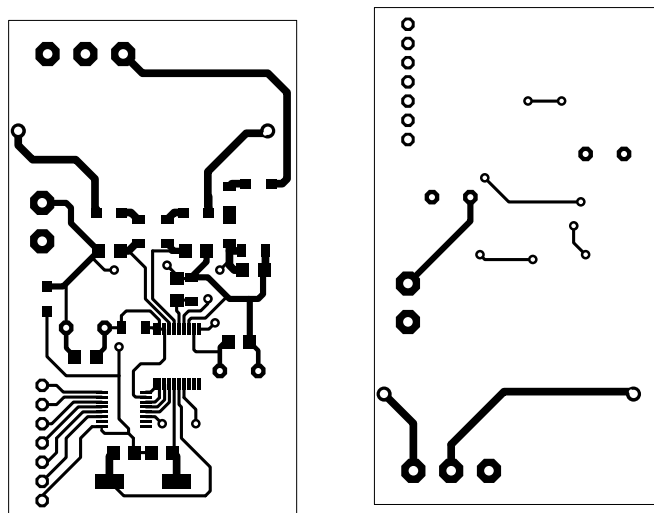
Označení	Hodnota	Poznámka
IC1	ADE7753	čip wattmetru
IC2	TXB0106PWR	převodník úrovně
Q1	3.579545 MHz	HC-49US
R3	0,005 Ω	5 W, ± 1 %
R4, R5	510 k Ω	1206
R6, R7, R8, R9	1 k Ω	1206
R10	10 k Ω	1206
C6, C7, C8, C9	33 nF	keramický , 1206
C10, C13	10 μ F	elektrolytický, 5 mm, 35 V
C11, C12	100 nF	keramický, 1206
C14, C15	22 pF	keramický. 1206
FB1, FB2, FB3, FB4	BLM31AF700SN1L	1206
K1	ARK500/3	svorkovnice rozteč 5 mm
K2	ARK500/2	svorkovnice rozteč 5 mm
JUM1	7 x 2,54 mm	řadový konektor

B.2 Schéma zapojení

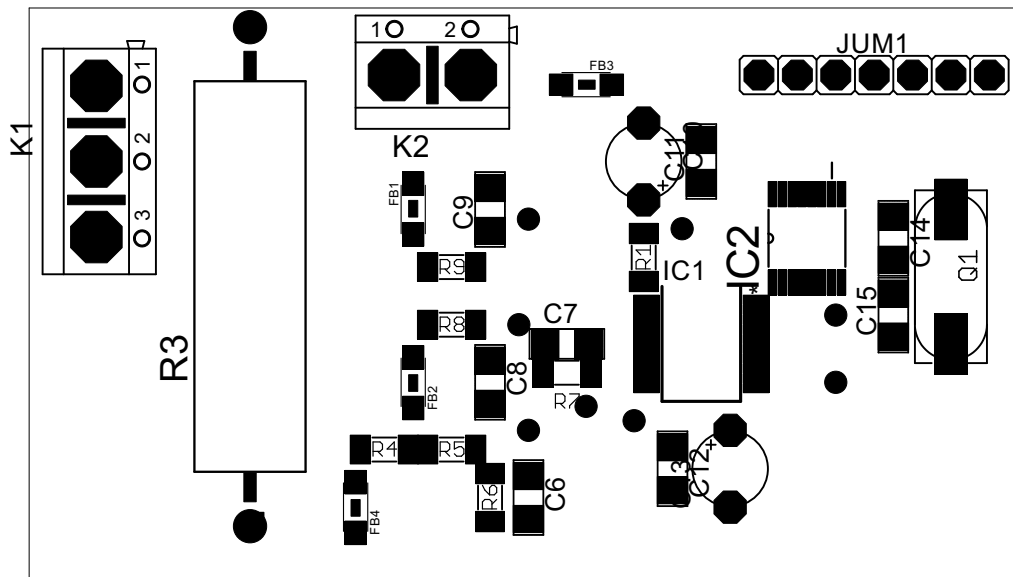


Obr. B.1: Schéma zapojení.

B.3 Předloha plošného spoje a osazovací plán



Obr. B.2: Předloha pro výrobu plošného spoje. Vlevo vrchní strana a vpravo spodní strana.



Obr. B.3: Osazovací plán.

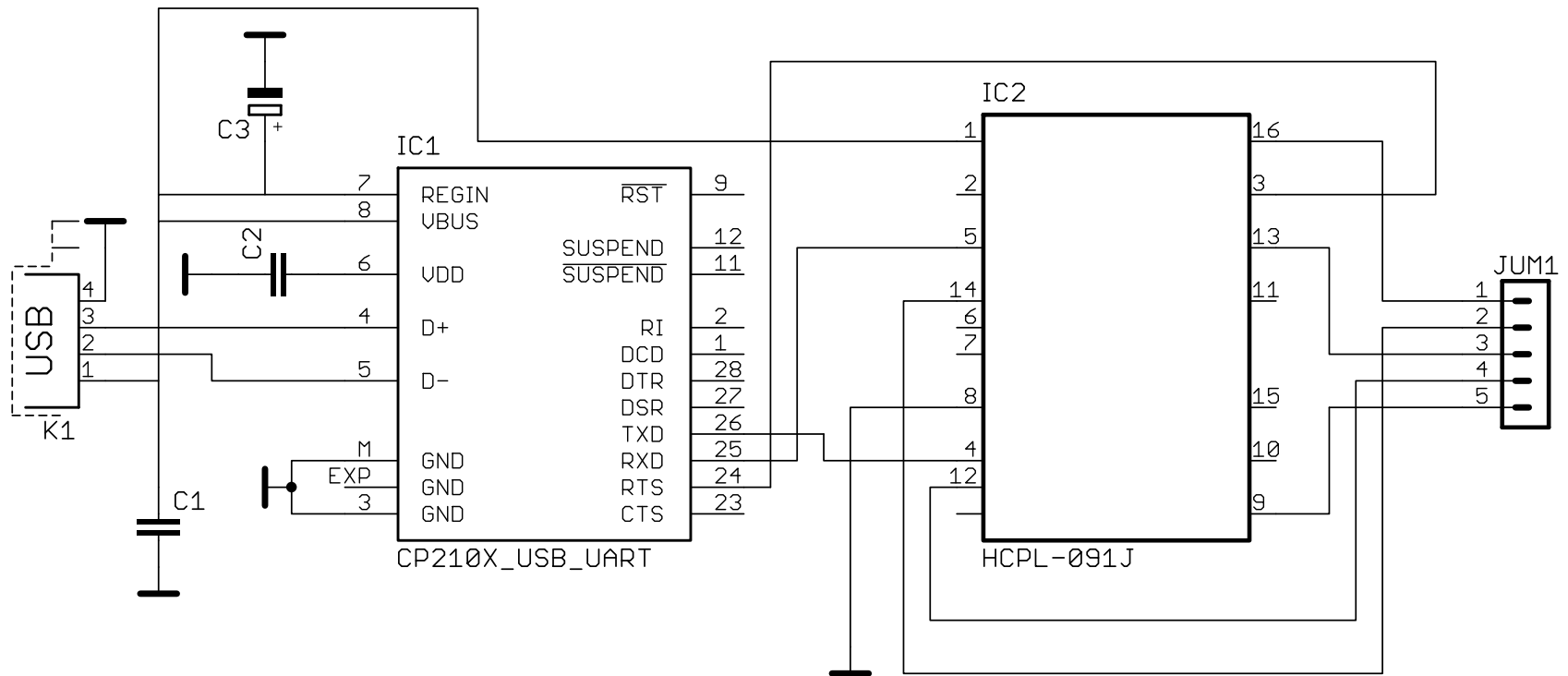
C PŘEVODNÍK UART – USB

C.1 Seznam součástek

Tab. C.1: Tabulka použitých součástek.

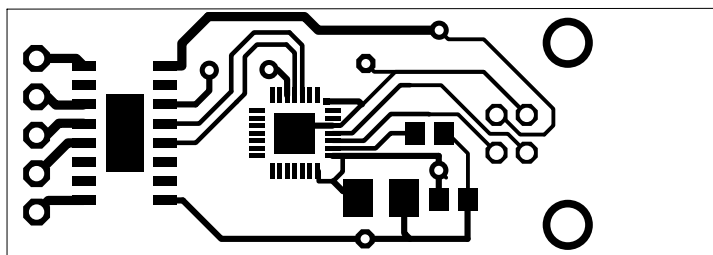
Označení	Hodnota	Poznámka
IC1	CP2102	28-pin QFN
IC2	HCPL-091J	Narrow Body SOIC-16
C1, C2	100 nF	keramika, 0805
C3	22 μ F	tantal, B
K1	USB1X90B	konektor USB
JUM1	rozteč 2,54 mm	konektorový kolík

C.2 Schéma zapojení

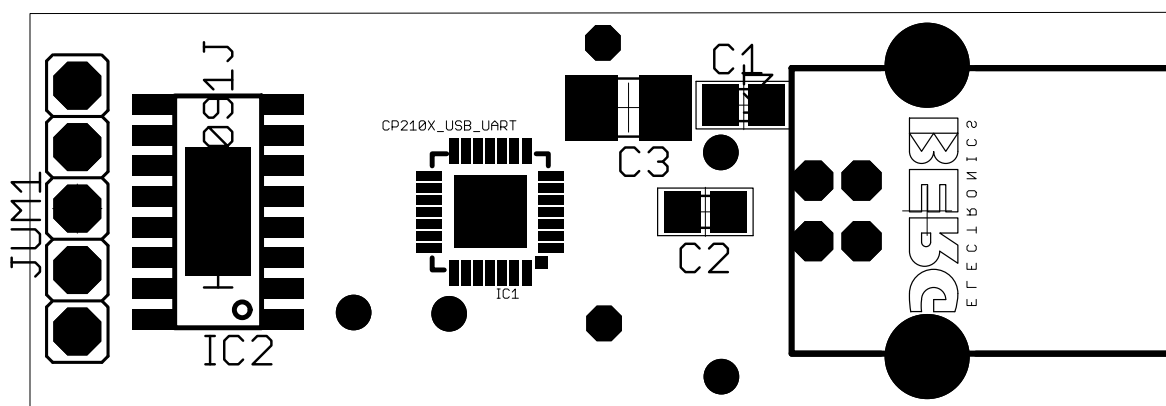


Obr. C.1: Schéma zapojení převodníku UART – USB

C.3 Předloha plošného spoje a osazovací plán



Obr. C.2: Předloha pro výrobu plošného spoje. Jednostranné PCB.



Obr. C.3: Osazovací plán.

D OBSAH CD

Diplomová práce

Software

Datasheety

Návrh obvodů v Eagle